

下水処理場を活用した資源・エネルギーの有効利用技術の開発 ～土木研究所におけるバイオマス有効利用に向けた取組み～

重村浩之

1. はじめに

近年、下水道事業においては、下水処理場内で発生する下水汚泥をバイオガス化や堆肥化する等の資源有効利用の取組が盛んに行われている。また、下水処理場において、生ゴミ等の下水処理場外で発生するバイオマスを集約し、下水汚泥と共同で処理する取組も一部で行われている。我が国においては2050年までにカーボンニュートラルを目指しており、下水道事業においても、資源・エネルギーの有効利用の取組はますます重要となっている。また、第5次社会資本整備重点計画の重点目標6として、「インフラ分野の脱炭素化・インフラ空間の多面的な利活用による生活の質の向上」が掲げられており、下水道分野においても、温室効果ガス排出削減量や、下水道バイオマスリサイクル率に係る指標が掲げられている。本報文では、平成28年度～令和3年度の土木研

究所第4期中長期計画期間の研究開発プログラムにおいて、資源有効利用や温室効果ガス排出削減のために土木研究所で取り組んでいる、下水資源で培養した藻類のエネルギー化技術、下水処理場内での草木系バイオマスの有効利用技術の開発動向について紹介する。

2. 下水処理場を活用したバイオマスエネルギー生産手法の開発

下水中には、窒素やリンといった栄養塩が豊富に含まれており、これらを活用し、藻類を培養することが可能である。藻類は増殖する際に二酸化炭素を取り込むため、培養した藻類のエネルギー化は温室効果ガス削減に資すると考えられている。下水資源を用いた藻類培養は他にも取り組まれている事例があるが、土木研究所においては、特定の藻類種ではなく、下水中に含まれる土着の藻類について、下水中の栄養塩のみで培養し、エネ

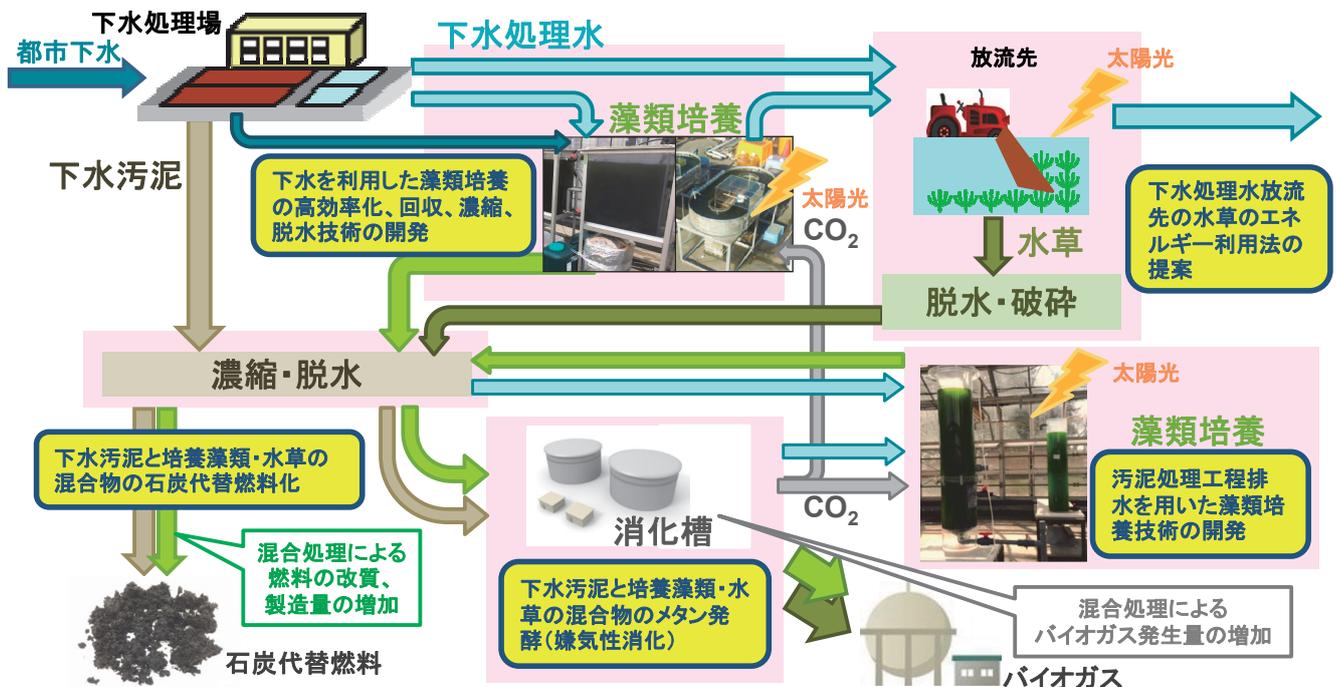
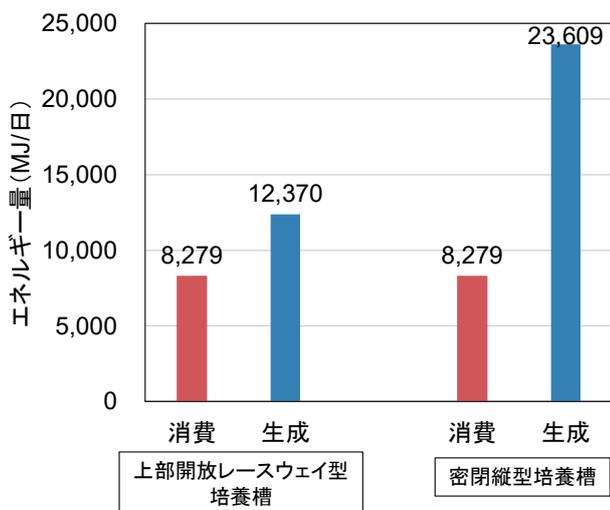


図-1 下水処理場を活用したバイオマスエネルギー生産手法の開発に関する研究のスキーム図

ルギー化する手法を検討している。これにより、特定の成分を加えることなく、比較的簡易に藻類を大量に培養し、再生可能エネルギーを増産することを目指している。

本研究のスキーム図を図-1に示す。主な研究内容は、下水資源を利用した藻類培養の高効率化、培養藻類の回収・濃縮技術の開発、下水汚泥と培養藻類の混合物のメタン発酵である。その研究成果の一部として、培養藻類エネルギー化におけるエネルギー収支の一例を図-2に示す。2種類の培養槽で藻類を培養した結果を示している。下水を用いて藻類培養を行い、培養した藻類を回収・濃縮して、メタン発酵装置に投入してバイオガス化(メタンガス化)するのに消費するエネルギーと、藻類から得られたバイオガスが有するエネルギーを比較した。培養槽により収支に差があるが、生成されるエネルギーの方が大きい結果となり、培養藻類をメタン発酵することにより、エネルギー生産が可能であることが示された。

本研究においては、これ以外にも、培養した藻類の回収・濃縮技術の開発や、下水の熱を活用した冬季における培養方法、効率的な培養槽の攪拌方法、ライフサイクルCO₂計算手法等について検討を進めている。今後、本技術の実用化に向けては、より大規模な培養槽を用いた実証実験が必要になると考えられ、それに向けて研究成果をとりまとめている。



消費: 藻類培養槽の攪拌やメタン発酵槽の電力等に費やしたエネルギー消費量
 生成: 培養した藻類のメタン発酵により得られたエネルギー量

図-2 培養藻類エネルギー化におけるエネルギー収支

3. 下水処理場を活用した草木系バイオマス有効利用技術の開発

3.1 草木系バイオマスの活用について

現在、複数の下水処理場において、生ゴミ等の下水処理場で発生するバイオマスを受け入れて、下水汚泥とともにバイオガス化したり、肥料にしたりしている事業が取り組まれている²⁾。生ゴミについては、その性質上、下水処理場内のメタン発酵施設においてバイオガスに分解されやすく、有効利用方法はほぼ確立されている。一方、草木系バイオマスについては、バイオガスへの分解性は、下水汚泥や生ゴミと比べて、メタンへの転換率が劣るというデータが示されている³⁾。刈草や剪定枝といった草木系バイオマスは、河川や道路の管理で大量に発生するため、土木研究所においては、有効利用手段の一つとして、下水処理場における活用方法を研究している。本研究のスキーム図を図-3に示す。主な研究内容は、剪定枝等を下水汚泥焼却施設の補助燃料に活用する手法検討、刈草等を下水汚泥の脱水助剤として活用する手法検討である。

3.2 剪定枝等を下水汚泥焼却施設の補助燃料に活用する技術

下水処理場で発生する下水汚泥については、比較的規模の大きな処理場を中心に、焼却施設で燃やして灰にしている。この焼却施設の補助燃料として、重油等の化石燃料が使用されているケースが多い。下水道事業から排出される温室効果ガスのうち、5.2%は燃料由来であり⁴⁾、カーボンニュートラルの実現に向けては、化石燃料の使用量の削減が望まれる。そのため、土木研究所においては、下水汚泥焼却施設で使う補助燃料について、化石燃料の代わりに剪定枝等の破砕物を用いるための研究を進めている。また、これらの技術を活用することで、温室効果ガス排出削減のみならず、河川事業や道路事業から発生する剪定枝等の有効利用にも資することとなり、循環型社会の構築に重要な技術と考えている。

本研究においては、これまで、本技術を用いることによる化石燃料(A重油)の代替量や、本技術を用いた場合のエネルギー収支検討、下水処理場内の設備を用いた剪定枝破砕物の移送実験、剪定枝燃焼後に発生する灰が焼却炉内に付着すると

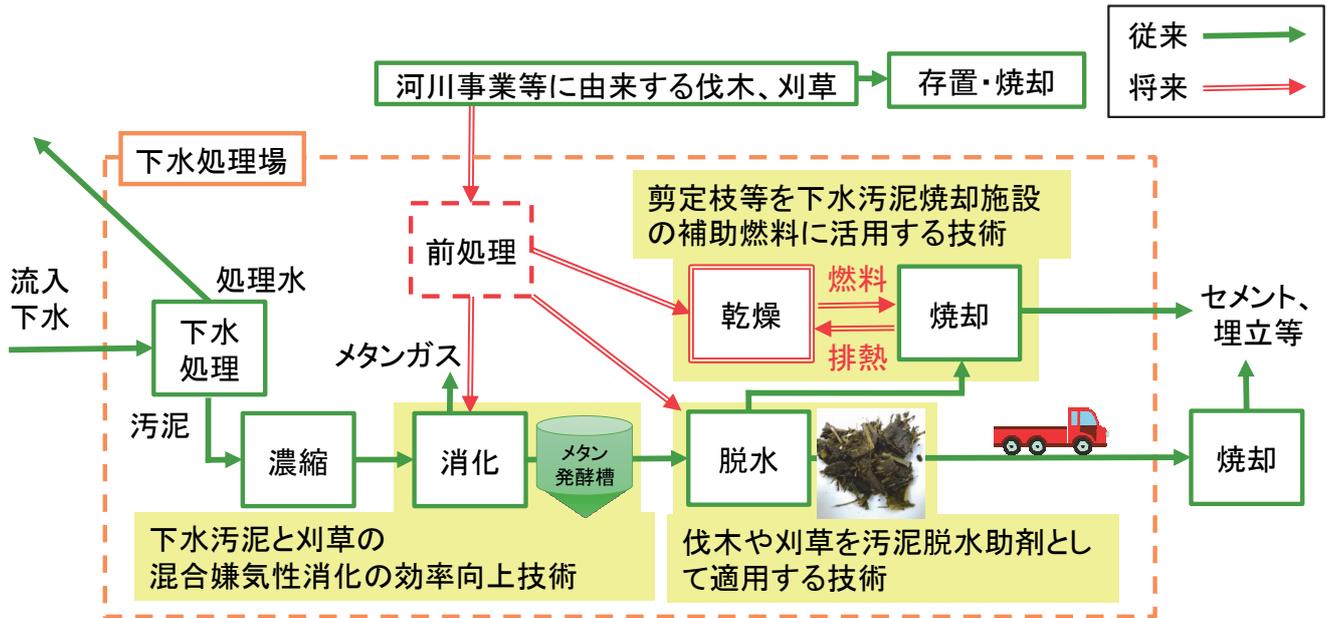


図-3 下水処理場を活用した草木系バイオマス有効利用技術の開発に関する研究のスキーム図

いう懸念事項への対策、必要なシステム構成、ライフサイクルCO₂計算手法等について検討を進めている。その研究成果の一部として、剪定枝破砕物を化石燃料に代わりに燃料として用いた場合の消費エネルギー量試算の一例を図-4に示す。従来システムは化石燃料を補助燃料として用いて下水汚泥を焼却させるシステムであるのに対し、本システムは化石燃料の代わりに剪定枝破砕物を用いたシステムである。本システムについては、剪定枝を破砕する際の消費エネルギーが追加されるが、全体で15%の消費エネルギー量削減という試算結果となり、温室効果ガス排出量削減に貢献できる技術であると考えられる。

現在、本技術においては、民間企業や大学と共同研究を進めており、技術の確立に向けて研究を進めている。今後、本技術の実用化に向けては、試験機等を用いた実証実験が必要になると考えられ、それに向けて研究成果をとりまとめている。

3.3 刈草等を下水汚泥の脱水助剤として活用する技術

下水汚泥は、発生時の固形物濃度は1~2%程度(含水率が99~98%程度)であり、ほとんどが水である。下水汚泥は、最終的には場外搬出されるケースが多いが、このままでは効率的に搬出できず、また、下水汚泥焼却施設でも水分が多すぎるので燃やりにくい。このため、下水汚泥中の水分の大半を取り除く必要がある。このため、ほとんどの下水処理場では、下水汚泥について、機械を

■ 破砕機等電力 ■ 補助燃料 ■ 焼却炉電力

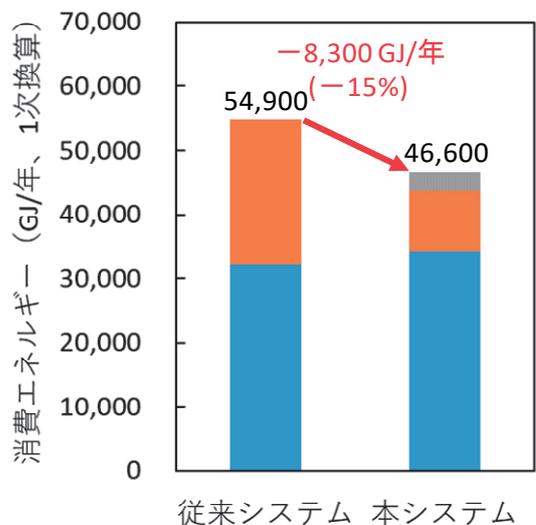


図-4 剪定枝破砕物を用いて下水汚泥を焼却した場合と、従来システムとの消費エネルギーの比較

用いて脱水している。脱水を行うことで、下水汚泥の含水率は80%程度まで下がり、見た目も固形状となる。汚泥の重量自体も大幅に下がり、場外搬出も容易となる。また、下水汚泥の脱水を効率的に実施するため、下水汚泥に凝集剤と呼ばれる化学薬品を混和して脱水するケースが多いが、下水処理場の維持管理費に占める薬品費の割合は3.2%であり⁵⁾、これの使用量を削減することで、下水道の維持管理費低減に貢献できる。

下水汚泥に繊維分を混ぜることで脱水が促進さ

れることについては、いくつかの研究で報告されている⁶⁾。土木研究所は、この下水汚泥の脱水促進のため、繊維分を多く含む刈草等の破砕物を混ぜることで、下水汚泥からさらに多くの水分を取り除いて、汚泥を軽量化するための研究を実施している。また、刈草を混ぜることで凝集剤の使用量を削減することができれば、維持管理費の低減も期待できる。また、下水汚泥焼却施設への剪定枝破砕物の適用と同様に、河川事業や道路事業から発生する刈草等の有効利用にもなり、資源有効利用による循環型社会の構築に重要な技術と考えている。

本研究においては、これまで、本技術を用いることによる下水汚泥の含水率低減効果の確認、汚泥重量削減によるコストメリットの試算、試験機や実施設を用いた刈草の下水汚泥混合脱水試験を実施し、ライフサイクルCO₂計算手法等についても検討を進めている。実施設を用いた実験において、汚泥重量や凝集剤の添加量について、10%程度の減少を確認している。

今後は、刈草等草木系バイオマスが混合している下水汚泥の有効利用手法の検討に取り組むと考えている。発生した刈草混合脱水汚泥を、肥料や燃料等として有効利用することで、本技術が確立されると考えている。現在のところ、刈草混合脱水汚泥の有効利用手法は未検討であり、今後、カーボンニュートラル推進のためにも取り組んで行きたいと考えている。

3.4 下水汚泥と刈草の混合嫌気性消化の効率向上技術

本研究では、生ゴミや下水汚泥と比較してバイオガスへの転換率が比較的小さい草木系バイオマスについて、嫌気性消化の効率向上手法について検討した。植物の部位によってバイオガスへの転換率に差があると考え、刈草について、葉、茎、根の部位別に、バイオガスの発生量を調査した。その結果、葉と根が、茎よりもバイオガス発生量が大きいという結果となった。

4. まとめ

現在、土木研究所において、下水処理場を活用した資源・エネルギー有効利用技術として開発している、下水資源で培養した藻類のエネルギー化技術、下水処理場内での草木系バイオマスの有効

利用技術の開発動向について紹介した。今後とも、開発している技術を確立し、下水道分野の脱炭素化に貢献できるよう、研究を進めていく所存である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、実験に用いる試料提供や、実験場所の提供について、複数の下水道管理者にご協力いただいた。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば、バイオガス中のCO₂分離・回収と微細藻類への利用技術実証事業、国土技術政策総合研究所下水処理研究室ウェブサイト、http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/doc/outline/h27_toshiba.pdf
- 2) 地域の未利用資源を下水処理場でまとめてエネルギーに一下水処理場における地域バイオマス利活用に向けて一、国土交通省下水道部ウェブサイト、<https://www.mlit.go.jp/common/001232781.pdf>
- 3) 例えば、内田勉、日高平：下水道革新的技術実証事業一般化検討調査、平成24年度下水道関係調査研究年次報告書集、土木研究所資料、第4275号、pp.1~2、2013
- 4) 地球温暖化の現状とカーボンニュートラルに関する動向等、令和3年度下水道技術開発会議エネルギー分科会(第1回)資料、国土技術政策総合研究所ウェブサイト、http://www.nilim.go.jp/lab/eag/pdf/20211008_2-4_ondanka.pdf
- 5) (公社)日本下水道協会：平成30年度版下水道統計、p.126、2020
- 6) 例えば、玉内亮介、末次康隆、山下学：下水汚泥由来繊維による脱水ケーキ低含水率化の予測と導入効果試算、第56回下水道研究発表会講演集、pp.1145~1147、2019

重村浩之



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員
SHIGEMURA Hiroyuki

