

高含水率有機系廃棄物の自治体における処理効率に関する研究 : LCAによる費用対効果分析

辻林, 英高

<https://hdl.handle.net/2324/7363887>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (農学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



高含水率有機系廃棄物の自治体における処理効率に関する研究
—L C A による費用対効果分析—

辻林 英高

2025

令和 6 年度 博士論文

高含水率有機系廃棄物の自治体における処理効率に関する研究
—L C A による費用対効果分析—

A Study on Treatment Efficiency of High Moisture Content Organic Waste
in Municipalities: Cost-effectiveness Analysis Using LCA



指導教員

教 授 矢部 光保

准教授 高橋 義文

准教授 野村 久子

九州大学大学院 生物資源環境科学府
農業資源経済学専攻 環境生命経済学分野
辻林 英高

要旨

2020 年 10 月、菅元総理大臣は『2050 年カーボンニュートラル』を宣言し、脱炭素に関する技術やビジネスモデルを日本の成長戦略の柱にするとした。一方でバイオマス活用推進基本計画を見ると家庭由来の生ごみの利用率が低迷している。国としては焼却処理に不向きな高含水率の生ごみ等の有機系廃棄物をバイオガスプラントで処理し、再生可能エネルギーを生産し、さらに肥料成分も国内農業で有効活用したい方針であるが、実際にはそのようになってはいない。

そこで本研究ではこうした家庭由来の生ごみやし尿、浄化槽汚泥に対する処理方法を高温好気性発酵処理、バイオガスプラント処理、焼却処理の 3 タイプに分類し GHG と費用の面から比較する。この際、分析手法は LCA を用いる。

先行研究を見ると自治体の一般廃棄物処理に関する LCA は工学系アプローチのものが多く、そのためバイオガスプラントを単に焼却の前工程として扱っている「バイオガスプラント＋焼却」などのモデル研究が多く、その場合、バイオガスプラントで発生する消化液は十分に利用されない、あるいはまったく利用せずに焼却するというシナリオになっている。現在の生ごみを含めた可燃ごみ処理の主流は焼却であり、この場合、助燃材として投入される重油などの化石燃料は決して少ない量ではなく、その投入により温暖化ガス（GHG）を発生させていることは工学系でも問題視しており、「バイオガスプラント＋焼却」は「焼却のみ」よりも GHG の面で優れていると結論付けている。

一方、これまでも日本では肥料自給率が低いことが問題視されていたが、ウクライナ戦争などにより 2022 年には肥料が特定重要物資に指定されるなど、消化液などの肥料成分を活用することは我が国の喫緊の課題へと深刻化している。

このような課題に対し、本研究では、LCA 及び費用対効果分析を用いて、農学的なアプローチによりバイオガスプラント等の事例を分析し、生ごみ等の処理については焼却よりはバイオガスプラントが GHG（環境性）と費用（経済性）の両面で優れていること、そして炭素負荷の大きな高含水率有機系廃棄物のバイオマス利用には高温好気性発酵よりもバイオガスプラントが GHG と費用の両面で優れていることを明らかにした。

一方でバイオガスプラント消化液は、自治体によって運搬・散布しなければ農家は利用できなかったために、これまで日本では自治体でバイオガスプラントは普及しなかった。そこで本研究では築上町で新たに開発された「濃縮液肥」と「濃縮液肥施設」について調査、分析を行った。その結果、濃縮液肥は肥料成分が最大 20 倍に濃縮されるので容積は従来液肥よりも小さく、需要者は購入後に自らが所有する軽トラックや乗用車で必要な量の濃縮液肥を運搬することが可能になったこと、また固形分を除去しているので、これまで消化液を利用することができなかった施設園芸農家においても既設の肥料混合器や養液移送ポンプを用いてすぐに利用できることを明らかにした。これらの変化は濃縮液肥製造施設が従来の消化液に付与した機能性である。

残る課題は濃縮液肥製造には電力消費が伴うためこれを通常の買電で賄うと新たな GHG 排出となってしまうという点である。これを解決するために、本研究では、自治体の廃棄物導入施設計画策定の時点で「バイオガспラント＋濃縮液肥製造施設」をシステムとして考え、このシステム内の消費電力の全てを賄えるようなバイオマス投入プランを用意すればよいこと、また、すでに確認されていることではあるが、自治体のバイオガспラント研究事例から、生ごみや浄化槽汚泥など一般廃棄物のみではなく、民間の畜産廃棄物や食品廃棄物を投入することで自家消費電力以上の発電することの重要性を示唆した。

このような考え方で政策として自治体に「バイオガспラント＋濃縮液肥施設」が導入できれば、FIT の空き容量問題に制限されることなく電力は有効に消費され、また自治体職員が消化液の地域内農業利用のために奔走、苦勞することもなく循環型社会を形成することができると考えられる。またそれは日本全体の温暖化ガス排出量削減に寄与すると期待できる。

さらに急速に発展する IT や AI 技術（工学または情報工学的アプローチ）を用いて高精度の生ごみ分別が実現すれば、すでに完成している濃縮液肥技術と組み合わせることで大都市においても消化液利用は可能になると思われる。本研究では最終的にこうした農学的アプローチと工学的アプローチが融合することを目指し、温暖化問題と国内肥料の問題の解決に寄与できるものであると考える。

目次

第1章 はじめに

1-1. 研究背景	1
1-2. 先行研究	3
1-3. 研究目的	6

第2章 バイオマス利活用の現状

2-1. 温暖化対策としてのバイオマス利活用の必要性	9
2-2. 我が国のバイオマス利活用方針	9
2-3. 自治体運営のバイオガスプラント	9
2-4. エネルギー収支で見たバイオガスプラント活用	10

第3章 自治体における高含水率有機系廃棄物のバイオガスプラントと焼却炉のGHG および費用の比較分析

3-1. 研究背景と研究目的	11
3-2. 分析手法、調査対象等	11
3-3. バイオガスプラントと焼却のGHG 排出に関する分析結果	16
3-4. GHG 結果からの考察	19
3-5. 小括	19

第4章 高温好気性発酵とバイオガスプラントの比較分析 -成功事例の2自治体の比較-

4-1. 研究背景と研究目的	20
4-2. 分析手法と調査対象、調査期間等	20
4-3. 単純比較でのGHG に関する分析結果	24
4-4. 炭素量を基準にしたGHG 算出 (原料が異なるプラント比較のための考察)	28
4-5. 小括	32

第 5 章	新規開発の濃縮液肥の LCA 評価と費用算出	
5-1.	研究背景と研究目的	33
5-2.	分析手法	34
5-3.	分析結果	38
5-4.	考察：民間による濃縮液肥の運搬・散布の GHG 算出結果	41
5-5.	小括	43
第 6 章	おわりに	
6-1.	結論	44
6-2.	政策提言	46
6-3.	今後の課題	47
謝辞		53

図目次

図-1 ISO14040 による LCA 実施手法の枠組み	10
図-2 大木町と東彼杵町の位置	12
図-3 大木町・バイオガスパラント処理の評価範囲	14
図-4 東彼杵町・焼却処理の評価範囲	14
図-5 大木町と築上町の位置	21
図-6 大木町と築上町の液肥循環事業の評価範囲	23
図-7 築上町・従来液肥と濃縮液肥の評価範囲	35

表目次

表-1 全国自治体の一般廃棄物・可燃ごみの処理施設、種類別設置件数	----- 2
表-2 大木町バイオガスプラント施設と東彼杵町焼却施設の概要	----- 13
表-3 大木町バイオガスプラントでの生ごみ等 1 トン当たりの処理にかかる GHG、各工程の GHG 割合	----- 15
表-4 東彼杵町・焼却施設での生ごみ 1 トン当たりの処理にかかる GHG、 各工程の GHG 割合	----- 16
表-5 バイオガスプラントと焼却での生ごみ等の処理費用の比較	----- 18
表-6 大木町と築上町の基礎情報	----- 22
表-7 2 町の液肥化事業のプロセスと活動量	----- 24
表-8 GHG 排出原単位	----- 25
表-9 GHG 排出量	----- 26
表-10 工程別 GHG 排出割合	----- 27
表-11 両町の有機廃棄物液肥化事業の GHG 排出量での比較	----- 28
表-12 投入バイオマス 1t（湿重量）当りの GHG 排出量	----- 29
表-13 2 町の有機廃棄物液肥化事業の費用	----- 30
表-14 投入バイオマス 1t（湿重量）当りの処理にかかる費用	----- 30
表-15 濃縮液肥製造施設の基本ランニングデータ（月間・年間）	----- 36
表-16 築上町・濃縮液肥 1L 当たりの製造にかかる GHG 量と割合	----- 37
表-17 築上町・濃縮液肥 1L 当たりの製造にかかる費用、割合	----- 38
表-18 民間による濃縮液肥 1L 当たりの運搬と散布にかかる GHG 量と割合	--- 39
表-19 濃縮液肥装置の開発メーカー（2025 年 2 月現在）	----- 41

写真目次

写真-1 従来の液肥（左）と濃縮液肥の概観（右）	34
--------------------------------	----

第1章 はじめに

1-1. 研究背景

我が国の近代前後のごみ収集、処理については排出者が自ら処理を行うか民間処理業者に処理委託をするか、あるいは空き地等に投棄され、それが不衛生な状態で増加することで度々伝染病などの社会的な問題を引き起こしてきた。そうした課題解決のために 1900 年に「汚物掃除法」が制定された。この汚物掃除法では市町村がごみ収集・処理の義務を負い、民間のごみ処理業者を管理するという形を基本としていた。この際、ごみ処理方法は焼却が奨励されており、ごみ焼却技術が未発達であったことや財政的な問題から野焼きが基本的な処理方法であった（環境省 2014）。

その後、第二次世界大戦を経て環境衛生対策として「清掃法」が 1954 年に制定され、国と都道府県が財政的・技術的援助を行いながら、市町村がごみの収集と処分を行う体制となった。なお同法では住民が市町村の収集・処理に協力することも義務化している。しかしながら戦後の経済復興や都市部への人口集中、さらに急速に発展する産業部門からの廃棄物への対応不備など、この時期にごみ問題は社会問題化する。その後、清掃法を全面的に改正して「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」が 1970 年に制定され、今日の廃棄物行政の基本が形成される。この廃棄物の処理及び清掃に関する法律の第 4 条では、国の責務として廃棄物の処理に関する技術開発の推進を図らなければならないと定められ、都道府県は市町村に対して必要な援助を行うことを努力義務としている。そして市町村は域内の一般廃棄物の適正処理を行い、さらに一般廃棄物の減量のために住民の自主的活動を促進させなければならないとしている。1995 年以降は公衆衛生の次の社会的課題として、循環型社会形成のための法的整備が進む。容器包装リサイクル法（1995 年）、家電リサイクル法（1998 年）、循環型社会形成推進基本法（2000 年）、建設リサイクル法（2000 年）、食品リサイクル法（2000 年）、自動車リサイクル法（2002 年）、小型家電リサイクル法（2013 年）などがそうである。一方で一般廃棄物に含まれる生ごみなどの高含水率有機系廃棄物の処理方法の主体はいまだに焼却処理であり、焼却時の熱エネルギーがわずかに利用されるに留まっている（焼却熱利用設備がある場合）。生ごみは含水率が 80%前後あり、燃焼に至るまでに他の紙類ごみやプラスチックごみの燃焼熱を用いて乾燥しなければならない。特に化石燃料を助燃材として投入することについては環境面と費用面で効率的ではない可能性があるため、本研究（第 3 章）では、現在の主流である生ごみの焼却処理とバイオガスプラント処理の GHG と費用を比較した。

また、生ごみ、し尿、浄化槽汚泥をバイオマス資源と見なして循環利用する場合においても、高温好気性発酵とバイオガスプラントの異なる処理方法があり、いずれにおいても成功事例とされる自治体が存在する。こうした状況においては施設導入を検討する自治体は高温好気性発酵とバイオガスプラントどちらの処理方法が適切なのか判断ができない可能性もあると思われる。よって本研究（第 4 章）において循環事

業が活発な2自治体の高温好気性発酵処理とバイオガスプラント処理のGHGと費用を比較した。

日本では一般廃棄物の可燃ごみ中の生ごみは重量ベースで30～40%程度¹と非常に大きな割合を占めている。これら生ごみは焼却処理ではなく、バイオガスプラント処理が適していることは国や都道府県レベルではよく理解されている。しかしながら、副産物として発生する消化液の利活用に課題があることから、表-1のようにバイオガスプラントの導入件数は焼却施設に比べて遥かに少ない²。

表-1 全国自治体の一般廃棄物・可燃ごみの処理施設、種類別設置件数

種 類	設置件数
焼却炉	915
ガス化溶融・改質炉	107
バイオガスプラント	24
その他	12
計	1,058

表1のように焼却施設（焼却炉とガス化溶融・改質炉の合計）1,022件に対して、バイオガスプラントは24件に留まっている。

次項での先行研究の指摘に基づき、今後のバイオガスプラント運営には「消化液の商品化」が必要になると想定した。第5章にて、その具体的な事例として築上町の濃縮液肥を取り上げ、その製造・運搬・散布の各工程のGHGと費用を算出した。また、築上町の新たな濃縮液と従来型液肥との差異について、自治体レベルでのバイオガスプラント＋濃縮液肥装置で発生する利点、例えば自治体による消化液の運搬・散布業務の解消などについて整理した。

こうした消化液の国内農業利用の増加は肥料自給率の向上にもつながるだろう。また最終処分埋立地の残余年数問題³からも、焼却灰を発生させる焼却処理の継続は困難と考える。総合すると、生ごみ等の高含水率有機系廃棄物の処理については焼却処理からバイオガスプラント処理による資源活用へと移行を開始すべきではないかと考える。

¹ 家庭由来の可燃ごみに占める生ごみの割合は次の通り。札幌市 37.1%（2023 年）、東京都 43.4%（2021 年）、京都市 40.5%（2013 年）、大阪市 40.2%（2018 年）、福岡市 30.1%（2019 年）。

² 表-1 以外に、可燃ごみの直接埋立処理が一部存在する。

³ 環境省は「一般廃棄物の排出及び処理状況等（令和3年度）について」の主な結果として、最終処分場の残余容量と最終処分場の数は概ね減少傾向で、最終処分場の確保は引き続き厳しい状況と報告している。

1-1-1.GHG を事業評価の判断とした妥当性について

本研究では GHG で自治体のごみ処理に関する事業を判断した。これは温暖化物質（GHG）がもたらす気候変動が喫緊の課題と捉えたからである。現在、GHG での事業評価は広く用いられている。GHG を重視した政策ならびに民間企業の経営戦略事例を以下に 2 点紹介する。

【例 1】

2022 年 1 月の内閣府令の改正にて、プライム上場企業（旧東証一部上場企業）の有価証券報告書に 2022 年 3 月期からサステナビリティ開示基準が新たに設けられ、企業活動における GHG の開示が努力義務とされた。今後は SSB 基準⁴のもと有価証券報告書に記載される GHG を一定の正確性と網羅性を確保した上で開示企業を増加させる予定であり、時価総額 3 兆円以上の企業は 2027 年 3 月からの GHG 開示が義務化される。こうした動きは海外投資家を含め全ての投資家が同じ基準で各企業の温暖化対策を比較できるようにし、国内企業がより高い評価を受けられるように脱炭素に向けた取り組みを加速させるためである。対象となるのは大手企業であるが、正確性と網羅性を求められているため、その傘下の企業や下請け企業にも自社活動の GHG 算出と報告が求められる。

【例 2】

トヨタでは GHG を用いた生産・販売計画最適化のための試算の一例として「バッテリー材料のリチウムの原料調達工程と製造工程の GHG を考慮すると、100 台の内燃機関の自動車のうち 1 台を電気自動車に置き換えるよりも、同じ電池の容量で作れる 90 台のハイブリッド車の方が 30 倍 GHG を削減できる」としている⁵。よって、トヨタをはじめ自動車工業会では、こうした GHG の検証結果をもとに EV（電気自動車）だけに注力せず、ハイブリッド車や水素内燃自動車などを含めた多くの選択肢を残し、車種ごとの各工程の GHG を示し、適材適所の車種を製造、販売することでカーボンニュートラルを目指すとしている（トヨタ 2023）。2025 年現在、世界の各自動車メーカーが開示する GHG はすべて LCA により算出している。EV シフトを推進する EU やアメリカの自動車メーカーも同様である。このように世界各メーカーの次世代自動車の販売戦略の要素に気候変動への対応が組み込まれている。

1-2. 先行研究

⁴ SSB 基準とはサステナビリティ基準委員会（SSBJ）が定める国内企業のサステナビリティ情報開示の基準。

⁵ 世界経済フォーラム、2023 年 1 月の年次総会、パネルディスカッションの中でのトヨタ社の発言。

(1) 自治体の生ごみ処理のバイオガスプラントと焼却に関する LCA

平井（2003）は自治体の可燃ごみ中の生ごみに対して、生ごみ分別収集から処理、埋立地への運搬工程について LCA・プロセス分析をモデル分析で行っている。同研究のモデル内容は、シナリオ a「バイオガスプラント＋液肥」、シナリオ b「焼却」としている。シナリオ a のバイオガスプラントは乾式、投入物の内容は生ごみ 80%、剪定枝 20% である。発生したバイオガスによる発電を行い、発酵後の発酵残渣のうち離脱水は浄化放流し、この浄化に係る電力消費分も LCA に含まれる。発酵残渣のうちの固形分は焼却炉に投入されるという想定になっている。この焼却の際にもごみ発電により電力が得られるという想定である。シナリオ b の「焼却」では生ごみ以外の可燃ごみも含まれる、いわゆる通常の可燃ごみを焼却し、ごみ発電により発電した電力は自家消費電力に用いるという想定である。同研究の結果は「バイオガスプラント＋液肥」では自家消費電力量を上回る電力がバイオガス発電＋ごみ発電から得られている。

2 つのシナリオの比較、すなわち「バイオガスプラント＋液肥の焼却」と「焼却」では前者の方が GHG は小さく優位であると結論付けている。

また、消化液を農業利用した場合を含めた LCA の先行研究としては、渡辺ほか（2003）が、20 万人都市をモデルとした生ごみ等処理のバイオガスプラント利用について LCA 分析をしているが GHG ではなくエネルギー（カロリー）での比較を主に行っている。生ごみと浄化槽汚泥をバイオガスプラントで処理したシナリオ 1 と焼却処理シナリオ 2、さらにバイオガスプラント消化液を脱水後に堆肥として農地に用いるシナリオ 3 で比較分析している。その結果、生ごみ分別率が 30% であればコスト面でシナリオ 1 とシナリオ 2 は大差ないというものであった。さらに生ごみ分別回収率を 80% まで高くしてバイオガスプラント処理後にその消化液を脱水して堆肥化した時に、最も地球温暖化、埋立地消費、健康被害の面で優れているとしている。

これらの工学的アプローチによる先行研究では消化液の農業利用がない、あるいは脱水して固形堆肥として農業利用するとしており、消化液の特性を理解した上で積極的に農業利用しようとしたものではないと考えられる。よって本研究において消化液の液体での利用について取り上げる（第 4 章、第 5 章）。

このような先行研究では、生ごみ等の処理に関して焼却炉単独で処理するよりも、生ごみの前処理工程としてバイオガスプラントを用い、次いで焼却炉を用いる手法が GHG あるいはエネルギー投入の面で優位であることまでをわかっている。しかし、そのようにバイオガスプラントを前処理工程、次工程で焼却とする処理構成ではバイオマス資源活用の

面からは最良とは言えない。元来、日本は肥料自給率が低いことが問題視されていたが、ウクライナ戦争などにより 2022 年に国は肥料を特定重要物資に指定した⁶。こうした状況から今後はさらに消化液を積極的に農業利用するという農学的視点が重要となる。

そこで、本研究の方法論については、代表的事例を抽出し、実際の活動データを取得して、LCA・プロセス分析を行う。特に、第 5 章で取り扱う濃縮液肥の LCA 分析に関しては、その機能単位を「施設園芸栽培にて作物が収穫できるまで灌水チューブが数か月詰まらない事（かつ消化液を原料とした濃縮液肥）」とする。このようなアプローチによる分析結果は、自治体担当者や農業者がすぐに理解できるものであり、そのため社会実装もよりスムーズに進むと考えられる。

他方、本研究で扱う事例は全て農村部であるため、このようなアプローチで問題ないとするが、大都市の生ごみ等処理手法としては消化液を処理する場合には、工学的な考え方も必要な場合がある。しかし、急速に発展する IT や AI 技術（工学または情報工学的アプローチ）を用いるなどして高精度の生ごみ分別が実現すれば、すでに完成している濃縮液肥技術（第 5 章）と組み合わせることで大都市においても消化液利用は可能になると思われる。

そこで、本研究では最終的にこうした農学的アプローチと工学的アプローチが融合することを目指し、温暖化問題と国内肥料の問題の解決に寄与したい考えである。

(2) バイオマス資源としての消化液利用

本研究では、食品廃棄物や浄化槽汚泥などの含水率の高い廃棄物系バイオマスのうち、自治体が処理しなければならない家庭由来の「生ごみ」「し尿」「浄化槽汚泥」を取り扱う。これら高含水率の有機廃棄物の処理に関しては、環境省や農林水産省の報告によればバイオガスプラントと高温好気性発酵が対象物をウェット状態のまま資源化できる点で評価されている（詳細後述）。しかし、自治体が住民サービスとして行う有機廃棄物液肥化事業において、両タイプのプラントを直接比較した研究はあまり多くない。バイオガスプラント処理に関しては、浜坂（2013）が自治体のバイオガスプラントの LCA において、生ごみ、農集排汚泥、豚糞尿、焼酎粕を投入した事例において自家消費を上回るバイオガス発電が得られることを確認している。一方、高温好気性発酵については、酒井（2015）が築上町（福岡県）のし尿、浄化槽汚泥の高温好気性発酵について、発酵熱により原料中の病原性細菌が

⁶ 経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律施行令、第 1 条、第 2 項。

死滅し衛生的な液肥が製造されていること、低コストで資源循環を実現できる技術であることなどを報告している程度である。同研究は理化学及び微生物学分野での研究であるため費用や投入される資材、エネルギーに関しては扱っていない。

そこで、本研究（第4章）では築上町の高温好気性発酵についてLCAを用いた評価を行う。その際、比較対象として同様に消化液利用が発達している大木町のバイオガスプラントを選択した。

（3）新たな消化液改質技術の開発等の必要性

浅井（2020）は、自治体だけではなく畜産事業者やその他民間部門を含めたバイオガスプラント事業全般について、大きな進歩が必要だとしている。具体的には以下2点を重要課題としている。

- ・消化液の浄化処理からは何も価値を生み出さないことを前提に、消化液は商品として販売、収益化させバイオガスプラント運営の経営効率化につなげなければならない。
- ・系統連携の空き容量問題や今後のFIT制度の変化に対応できるよう、得られるバイオガスについて売電以外の利用方法の確立が必要。

また自治体の事例ではないが日本で最もバイオガスプラント消化液の使用量が多い北海道においても、畜産由来の消化液施用がその地域の畑作経営の中に明確に位置付けられていない例もあり（芦田ほか 2024）、日本においては消化液利用がまだ定着していないという現状がある。

今後のバイオガスプラント普及のためには、これらの課題を踏まえた消化液利活用を考えなければならない。そこで本研究では、第5章にて新たな消化液改質技術の開発に関する事例を取り上げる。

1-3. 研究目的

本研究では、生ごみ、し尿、浄化槽汚泥等の高含水率有機系廃棄物をバイオマス資源と捉え、自治体の一般廃棄物処理において、バイオガスプラントが、焼却処理に代替して、廃棄物政策転換の手法となるための条件を明らかにすることを目的とする。そのために必要となる要素を、本研究では事例分析をもとに数値化、または具体化し、国の廃棄物行政担当者、自治体担当者、農業者等に提供するものである。

より具体的には、日本におけるバイオガスプラントが普及しない原因である消化液利用の不調という課題を解決し、多くの自治体においてごく平易に、かつ標準的業

務レベルでバイオガスプラントを運用・活用できるようにすることにある。個別の研究目的は以下の通りである。

第一の研究（第3章）では、一般廃棄物処理におけるバイオガスプラント処理と焼却処理を比較した。生ごみのような高含水率有機系廃棄物の処理は焼却よりもバイオガスプラントが適していることを示すために、各処理の各工程で発生する GHG と費用を算出した。バイオガスプラントは消化液の農業利用を前提とした湿式である。焼却方式は一般的なストーカー式とした。本研究では、生ごみ等の処理において、焼却処理よりもバイオガスプラント処理の方が GHG、および費用の面で優れていることを数値化することができた。GHG では温暖化の影響を比較し、費用では対象バイオマス単位当たりの利用または処分にかかる経済性を比較した。

第二の研究（第4章）では高温好気性発酵処理とバイオガスプラント処理を比較した。調査対象の2自治体はいずれも循環事業で著名な町であり、消化液の地域内農業での利用が盛んである。投入原料はし尿、浄化槽汚泥であり、さらにバイオガスプラントには生ごみが投入されている。単純比較と炭素量を基準とした比較を行った。単純比較では各プラントの特性を把握することに役立った。またいずれのプラントにおいても消化液利用工程が温暖化物質の主たる原因にはなっていない事を確認した。

炭素量を基準とした比較は、生ごみの有無によりふたつのプラントの単純比較ができないことから、投入する炭素量をプラントへの負荷と仮定して各プラントの GHG と費用比較を試みた。結果は処理する炭素量を基準にすると高温好気性発酵よりもバイオガスプラントの方が GHG においても費用においても優位であることがわかった。

第三の研究（第5章）では消化液の普及が進まない原因を考察した上で、消化液の有効成分濃度と性状に改善を加え、消化液に商品性あるいは付加価値を持たせた「濃縮液肥」に変換する「濃縮液肥施設」について分析を行った。この濃縮液肥施設を導入することによって、それまでは自治体負担で消化液を農地まで運搬・散布していた工程が、全て民間に転嫁できることが確認できた。すなわち従来型消化液では農家側は自治体が安価で運搬・散布してくれることが消化液の選択理由になっていたが、濃縮液肥では農家や一般市民などが市販の液体肥料や固形肥料、そして従来型肥料と比較、選択して濃縮液肥を購入のみ行い、運搬は不要となっていた。濃縮液肥は肥料成分が最大 20 倍に濃縮されているので容積は従来液肥よりも小さく、そのために需要者は購入後に自らが所有する軽トラックや乗用車で必要な量の濃縮液肥を運搬することが可能になることを明らかにする。また固形分を除去しているので、これまで消化液を利用することができなかった施設園芸農家においても既設の肥料混合器や養液移送ポンプシステムを用いて、新たな投資をすることなくすぐに利用できること、及

び、これらの変化は濃縮液肥製造施設が従来の消化液に付与した機能性であることを示す。一方で濃縮液肥製造には電力消費が伴うためこれを通常の買電で賄うと新たな GHG 排出となってしまう。この課題解決については第 6 章の政策提言で詳述する。

また築上町・濃縮液肥製造施設と同種の機能性を消化液に持たせることが可能な技術や設備について調査する。2025 年 2 月現在で国内にて販売されている、または販売準備中の 4 社の「消化液の濃縮を行う設備」について「築上町・濃縮液肥施設」と LCA 比較を行うことを検討する。その際、機能単位を「施設園芸栽培にて作物が収穫できるまで灌水チューブが数か月詰まらない事（かつ消化液を原料とした濃縮液肥）」としたところ、築上町・濃縮液肥施設と比較対象とならないことを、改めて確認する。

第2章 バイオマス利活用の現状

2-1.温暖化対策としてのバイオマス利活用の必要性

2020年10月、菅元総理大臣は「集中豪雨、森林火災、大雪など、世界各地で異常気象が発生する中、脱炭素化は待ったなしの課題だ。同時に、気候変動への対応は、わが国経済を力強く成長させる原動力になるという思いで『2050年カーボンニュートラル』を宣言し、成長戦略の柱として取り組みを進める」と語った。

その後2022年の日本の平均気温は観測史上最高となり、同年はイギリス、ドイツ、フランス、スペイン、ニュージーランドでも年平均気温の観測史上最高を記録した。こうした近年の気温や海水温上昇により、日本では大雨、短時間の豪雨、夏季の酷暑、冬季の短期間でドカ雪などが増加していると分析されている(気象庁2023)。菅元総理が述べた通り、気候変動に起因するリスクへの対応として温室効果ガスの排出削減は喫緊の課題であろう。

このように気候変動に起因するリスク対応として脱炭素化、すなわち温室効果ガスの排出削減を課題とした場合、社会には様々な排出源がありそれぞれに対応策がある。本研究では自治体が扱う一般廃棄物中の生ごみ等の高含水率の有機系廃棄物を扱う。

2-2.我が国のバイオマス利活用方針

日本のバイオマス利活用の指針であるバイオマス推進基本法は、第1次バイオマス活用推進基本計画が2010年(平成22年)に策定され、その後、第2次として2016年(平成28年)に修正され、さらに第3次計画として2021年(令和4年)に変更がなされた。この第1～3次の間、常に利用率が低迷しているのが家庭由来の生ごみである。家庭からの生ごみの再利用率は2009年6%、2020年7.5%である。国としては焼却処理に不向きな含水率の高い生ごみ等の有機系廃棄物をバイオガスプラントで処理し、再生可能エネルギーを生産し、さらに肥料成分も自国農業で有効活用したい方針であるが、実際にはそのようにはなっていない(内閣府ほか2021)、内閣府ほか2016)、内閣府ほか2022)、環境省2023)。

2-3.自治体運営のバイオガスプラント

東日本大震災(2011年)の翌年から再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)が導入され、金銭的な動機付けが得られたことから、民間部門のバイオガスプラントの導入件数は増え続けており、2021年度では245件となっている。さらに2050年度では1,040～1,415件に大幅に増加すると推計されている(日本有機資源協会・木質バイオマス協会2023)。一方で地方自治体が担う家庭由来の生ごみを原料とするバイオガスプラントは2023年現在で24件と低迷している(環境省2023)。現状ではこのように、家庭由来の生ごみが積極的にバイオガスプラント処理され、再生可能エ

エネルギーを生産し、かつ農業用肥料として再資源化されるという動きはほとんど見られない。

2-4.エネルギー収支で見たバイオガスプラント活用

2012年9月のバイオマス活用推進会議では、個別重点戦略として食品廃棄物、下水汚泥、家畜排泄物の各バイオマス資源について、バイオガスプラントでの処理が第一の手法として示されている。その理由として食品廃棄物と下水汚泥については、そのエネルギーポテンシャルの高さが挙げられている。具体的には乳牛などの畜産廃棄物処理をバイオガスプラント処理するケースで、寒冷地（北海道）で冬季の発酵槽加温のためにバイオガスを自家消費してもトータルのエネルギー収支がプラスになることが確認されている（石田他 2001）。また、地方自治体が一般廃棄物の生ごみ等の食品廃棄物に加え、地域内の畜産業から発生する豚糞尿や酒造業からの焼酎かす等をバイオマス資源として投入しているバイオガスプラントでエネルギー収支がプラスになることも報告されている(浜坂 2013)。

本研究で扱う大木町のバイオガスプラントでは家庭由来の可燃ごみ中の生ごみ、し尿、浄化槽汚泥のみを投入しているため自己消費電力の68%を賄うに留まっているが、この数値が決してバイオガスプラントの温暖化防止効果が低いという事ではないという事について第3章で確認した。

第3章 自治体における高含水率有機系廃棄物のバイオガспラントと焼却炉の GHG および費用の比較分析

3-1. 研究背景と研究目的

【研究背景】

第2章で述べたようにバイオマス活用推進基本計画等で課題となっている家庭由来の生ごみを中心とした有機系廃棄物は、表-1の全国の一般廃棄物・可燃ごみの処理タイプ別設置件数で見たように全国的に見ればそのほとんどが焼却処理されており、再利用率が低迷している。焼却の際の課題として、生ごみ焼却のための助燃材投入による GHG 増加の可能性がある。また焼却処理では最終処分場の問題は解決できない。さらに焼却では投入バイオマスを農業資材に変換できないために、国内肥料自給率にも寄与しない。

【研究目的】

本章では LCA の手順に基づいて高含水率の有機系廃棄物の処理について、バイオガспラント処理と焼却処理を比較することで、どちらが温暖化に影響を与えているのか数値化する。具体的にはバイオガспラント処理と焼却処理の GHG と費用について比較する。また、LCA で用いた評価範囲でバイオガспラントと焼却の費用を明らかにする。

3-2. 分析手法、調査対象等

分析手法は Life Cycle Assessment（以下、LCA と呼ぶ）に基づいたプロセス分析法を用いる。足立ほか（2004）によると、現在の地球温暖化問題の解決のためには財やサービスの生産、流通、消費、廃棄というライフサイクル全体での対策が必要であり、LCA・プロセス分析法は社会経済システムが地球環境に与える影響をある程度コントロールできるのではないかとしている。ただし LCA が機能する条件として、LCA を実施する際に主観が入り込む余地を極力排除し、恣意的な解析を最大限除外する必要があると指摘している。LCA の実施者は常にこの指摘を念頭に置く必要がある。具体的には ISO14000 シリーズに準拠することで一定程度の客観性を担保することができる。下図は ISO14040 による LCA 実施手法の枠組みである。本研究もこの ISO14040 の枠組みに沿って実施する（図-1 参照）。

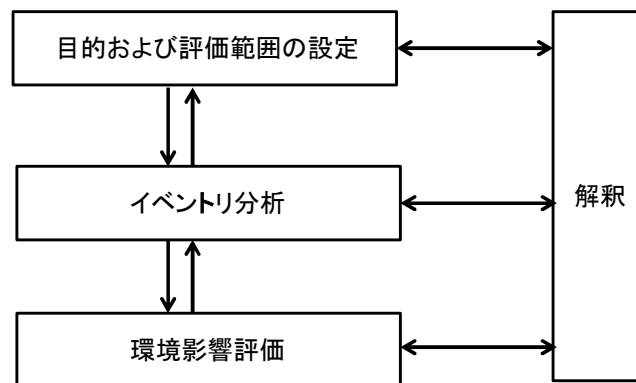


図-1 ISO14040 による LCA 実施手法の枠組み

【GHG の算出方法】

- (1) 目的及び評価範囲を設定する。
- (2) 評価範囲内の各工程に投入されている資材量やエネルギー消費量を計測してインベントリ分析を行う。
- (3) インベントリ分析に対応する環境影響評価を行う。今回の目的は評価範囲中の総 GHG（環境影響評価）を求めるということになる。GHG 排出原単位は IDEA から取得する。インベントリ分析の各活動量に GHG 原単位を掛け合わせることで GHG 排出量（kg-CO₂）を得る。

【LCA 分析における設備等の扱い】

LCA では製品やサービスの「ゆりかごから墓場まで」を評価するが、設備や建築物であるイニシャル分をフロー分と同様にプロセス分析法で評価する場合、そのデータ収集には膨大な労力が必要となる。2018 年の EU の再生可能エネルギー指令（Renewable Energy Directive）の改正版（RED II）では、再生可能エネルギーの LCA の方法論において「機械ならびに設備からの GHG 排出分は考慮しない」とされた（European Parliament and of the Council 2018）。この EU の方針等を参考として、経済産業省のバイオマス持続可能性ワーキンググループにおいても「発電所やバイオマス燃料の製造工場などの設備建設による排出は考慮しない」という案が出されている（経済産業省 2023）。よって本研究においても設備、建築物、車両等のイニシャル分に関する GHG はカウントせず、GHG 算出はフロー分のみを対象としている。

LCA においてそのイニシャル分の扱いをどのようにするのかという点については、これまで多くの議論が重ねられてきた。今回の EU 指令において同議論にひとつの区切りが付いたと見て良いだろう。1-1-1（p3）のように今後は LCA に基づ

く GHG 算出が社会で広く行わなければならない、そのためのイニシャル分の切り捨てを容認することは現時点では許容範囲だと考える。

3-2-1.調査対象

バイオガспラント事例として大木町（福岡県）を、焼却施設の事例として東彼杵町（長崎県）を調査対象とした。

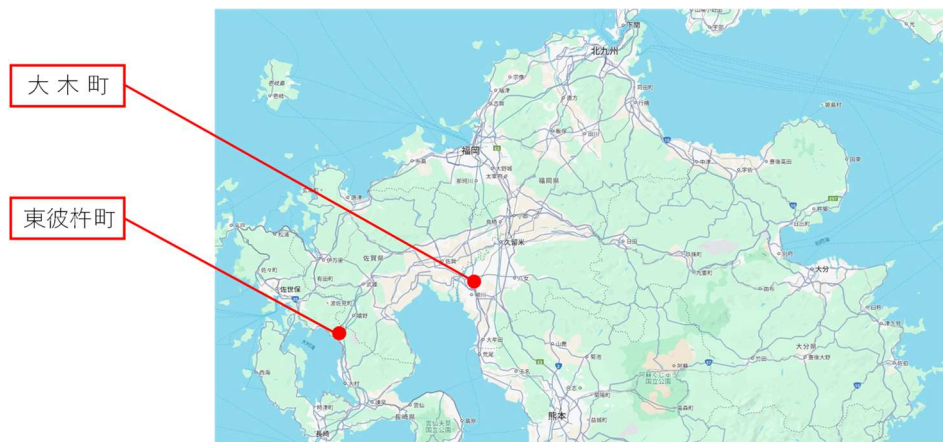


図-2 大木町と東彼杵町の位置

（引用元：Google 社、Google マップ）

東彼杵町では 2012～2013 年度の 2 ヶ年、バイオマス活用推進検討委員会を設置し生ごみ等の循環利用を検討した。この時期、東彼杵町では一般廃棄物焼却施設の更新準備に入っており、次期施設としてバイオガспラントを検討していた。東彼杵町では、循環の町づくりとして全国的に著名だった大木町のバイオガспラントの生ごみ分別回収システムや消化液の地域内農業利用、それら農産物を活用した町おこしなどについても調査を行っており、本研究にも町が主体的に協力した。

3-2-2. 調査期間(データ分析期間)

大木町については第 3 章と同様に 2011 年度、2012 年度の 2 ヶ年分データの平均を用いている。東彼杵町については 2013 年度のデータを用いた。各種データは自治体担当課や委託業者へのヒアリングより得た。

3-2-3. 大木町バイオガスプラント施設と東彼杵町焼却施設の概要

表-2 は 2 町の施設概要を示している。大木町については前出と同様の内容である。東彼杵町は他の 2 町と共同で東彼地区清掃工場において、生ごみ、プラスチックごみ、紙類ごみ、その他の可燃ごみを「可燃ごみ」として焼却処理している。3 町の可燃ごみ排出量、可燃ごみ組成分析結果から東彼杵町の生ごみ湿重量を按分し、これを本調査で対象とする高含水率有機系廃棄物とした。なお東彼杵町の可燃ごみに占める生ごみの割合は 30.2%であった。

表-2 大木町バイオガスプラント施設と東彼杵町焼却施設の概要

	大木町	東彼杵町
人口(人)	14,500	8,500
面積(km ²)	18.4	74.3
施設名称	大木町バイオマスセンター くるるん	東彼地区清掃工場
方 式	メタン発酵中温湿式発酵	ストーカー式焼却炉・准連続運転
処理能力 (実績値)	生ごみ 約1,200t/年 し尿 2,360t/年 浄化槽汚泥 8,170t/年	【東彼杵町】 生ごみ 約600t/年 生ごみ以外の可燃ごみ 約1,400t/年 【3町合計】 生ごみ 約3,000t/年 生ごみ以外の可燃ごみ 約7,000t/年
運営方法	大木町の単独運営	東彼杵町を含め3町で運営 (東彼杵町、川棚町、波佐見町)
竣 工	2006年	竣工 1981年 改修 2002年
イニシャル費用(施設)	7.9億円	21.6億円
イニシャル費用(車両)	6,500万円	

3-2-4. バイオガスプラントと焼却処理の評価範囲

大木町の評価範囲は図-3 となる。点線囲が評価範囲である。大木町の評価範囲では生ごみ、し尿、浄化槽汚泥が原料として投入されており、それら全ての処理にかかる GHG を算出するということになる。よって得られる結果は生ごみ、し尿、浄化槽汚泥（脱水後）の混合物 1t 当たりには排出される GHG であり、生ごみ処理だけのものではない。しかし、地方や農村部の自治体が一般廃棄物処理にバイオガスプラントを導入する場合、これら生ごみ・し尿・浄化槽汚泥をセットで同時に処理することで、バイオガスと消化液の両方の活用が容易になること、さらに大木町のバイオガスプラ

ント事業の経済性が高く評価されていることから、実際の大木町のプロセスをそのまま評価範囲とした。また、渡辺（2003）によると、生ごみを単独でバイオガスプラントに投入するよりも、下水処理施設排出の汚泥を混合する方がメタン発酵は促進するとの報告があり、効率化を追求するという視点から大木町の投入物を生ごみ、浄化槽汚泥、し尿のままとした。

東彼杵町は図-4 の通りで、対象バイオマスの収集から処理変換（焼却）、最終処分場での埋立管理（埋立後 1 年分）とした。なお、東彼杵町での生ごみの焼却時に排出されるガスはカーボンニュートラルとしてカウントしない。

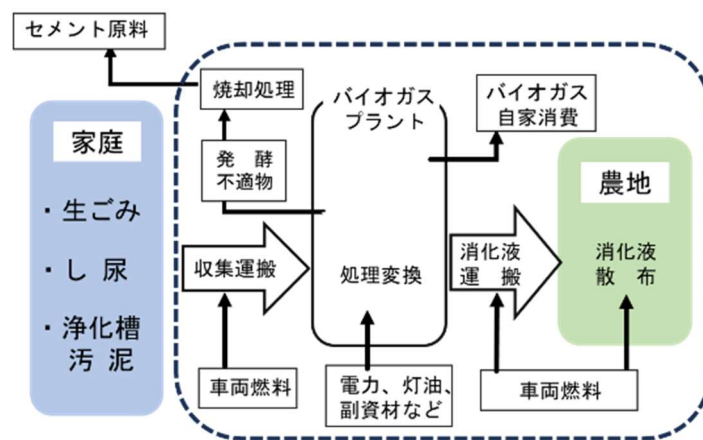


図-3 大木町・バイオガスプラント処理の評価範囲

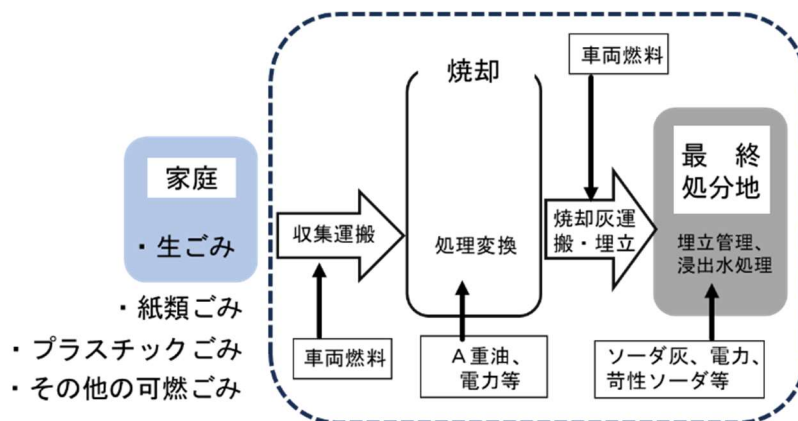


図-4 東彼杵町・焼却処理の評価範囲

3-2-5. バイオガスプラント処理と焼却処理の費用算出

- ・ LCA で設定する評価範囲（前頁）の中の費用を計測し、両タイプの処理での対象バイオマスの処理費用を確認する。
- ・ 処理費用は、評価範囲中の総費用（年額）を対象バイオマス総重量で除したものとした。

3-3. バイオガスプラントと焼却の GHG 排出に関する分析結果

表-3 に示すように、大木町の GHG の排出量は原料（生ごみ、し尿、浄化槽汚泥の混合物）1 トン当たり 24kg-CO₂ となった。大木町・バイオガスプラント処理で最も GHG が大きい工程はプラント内処理の副資材由来である。大木町では収集した浄化槽汚泥を一旦凝集させ固液分離しており、その際に投入するポリ鉄（凝集剤）の消費で、また消臭剤の活性炭の消費で GHG が大きかった原因となっている。

GHG 排出割合は、収集工程ではバイオガスプラントが 28%と東彼杵町・焼却処理の 4.3%（表-4）よりも大きい、これは大木町の生ごみ分別収集では収集用の大型バケツを各ごみステーションに回収、設置するためにトラックでの輸送燃料が消費されていることが原因である。

表-3 大木町バイオガスプラントでの生ごみ等 1 トン当たり
の処理にかかる GHG、各工程の GHG 割合

ID	項 目	kg-CO ₂	工 程	GHG 排出割合
1	生ごみ輸送	1.3830	バイオマス資源収集 (車両燃料由来)	28%
2	し尿輸送	1.2465		
3	浄化槽汚泥輸送	3.8705		
4	除砂輸送	0.0051	プラント内処理 (処理工程中に発生 する廃棄物由来)	5%
5	除砂処理	1.0989		
6	生ごみ不適物輸送	0.0043		
7	生ごみ不適物処理	0.1038		
8	前処理し渣輸送	0.0009		
9	前処理し渣処分	0.0217		
10	発酵槽堆積物輸送	0.0005		
11	発酵槽堆積物処分	0.0108		
12	電力使用(買電して消費した分)	5.2373	プラント内処理 (購入電力由来)	22%
13	灯油の輸送	0.0002	プラント内処理 (副資材由来)	41%
14	灯油の燃焼	0.3051		
15	活性炭の製造	4.6103		
16	活性炭の輸送	0.0007		
17	ポリ鉄の製造	3.3201		
18	ポリ鉄の輸送	0.0096		
19	硫化鉄の製造	0.1190		
20	硫化鉄の輸送	0.0006		
21	苛性ソーダの製造	1.1845		
22	苛性ソーダの輸送	0.0071		
23	次亜塩素酸ソーダの製造	0.0170		
24	次亜塩素酸ソーダの輸送	0.0003		
25	上水の利用	0.1578		
26	液肥の散布	0.8737	農地での液肥利用 (車両燃料由来)	4%
合 計		24		100%

東彼杵町の GHG の排出量は原料（生ごみ）1 トン当たり 233kg-CO₂であった（表-4 の通り）。バイオガспラント処理と比較して約 10 倍の排出量である。工程ごとの GHG 割合は、収集工程 4.3%、焼却工程 95.1%、焼却灰運搬・埋立工程 0.03%、埋立管理（浸出水処理）0.57%である。GHG の排出原因として注目すべき項目は焼却工程で使用される助燃材（A 重油）と電力である。助燃材については、生ごみ 1 トン当たり A 重油 37 リットルが消費されていた⁷。

表-4 東彼杵町・焼却施設での生ごみ 1 トン当たりの処理にかかる GHG、各工程の GHG 割合

ID	項 目	kg-CO ₂	工 程	GHG 排出割合
(1)	生ごみ輸送	9.9136	ゴミ収集	4.3%
(2)	A重油の輸送	0.1116	焼却	95.1%
(3)	A重油の燃焼	113.2678		
(4)	電力使用(焼却場)	100.9667		
(5)	上水の利用	0.7559		
(6)	消石灰の製造	2.8941		
(7)	消石灰の輸送	0.0641		
(8)	活性炭の製造	3.0725		
(9)	活性炭の輸送	0.0075		
(10)	キレート剤の製造	0.4376		
(11)	キレート剤の輸送	0.0075		
(12)	焼却灰の輸送(焼却場から埋立場)	0.0282	焼却灰運搬・埋立	0.03%
(13)	焼却灰の埋立(重機)	0.0387	埋立管理 (浸出水処理)	0.57%
(14)	電力使用(埋立場)	0.1437		
(15)	希硫酸の製造	0.00003		
(16)	希硫酸の輸送	0.0001		
(17)	液体苛性ソーダの製造	0.2612		
(18)	液体苛性ソーダの輸送	0.0045		
(19)	メタノールの製造	0.0178		
(20)	メタノールの輸送	0.0003		
(21)	塩化第2鉄の製造	0.0518		
(22)	塩化第2鉄の輸送	0.0017		
(23)	ソーダ灰の製造	0.7648		
(24)	ソーダ灰の輸送	0.0156		
(25)	凝集剤の製造	0.0627		
(26)	凝集剤の輸送	0.0001		
合 計		233		100%

【補足】

IDEA.ver3.3 によると可燃ごみの「一般廃棄物の焼却処理（発電なし）」では 468kg-CO₂/t と東彼杵町の値の約 2 倍の数値となっている。「一般廃棄物の焼却処理（発電あり）」でも 407 kg-CO₂/t である。このように東彼杵町の生ごみの焼却ケースよりも全国平均値の GHG が大きい理由は、東彼杵町の可燃ごみ中に占める生ごみの割合（湿重量比）が 30%であったのに対して、東京都では 43.4%（2021 年）、大阪市 40.2%（2018 年）と都市部の方が生ごみの占める割合が高いためではないかと推測さ

⁷ 含水率 80%の生ごみ 1 トンを燃焼させるためには約 3,700MJ、A 重油換算で 96 リットルが必要と試算される（生ごみ温度 20℃、焼却炉の熱損失係数を 1.8 と仮定）。同焼却施設では実績値として生ごみ 1 トン当たり A 重油 37 リットルを消費しており、よって不足する熱量は混焼している他の紙類やプラスチック類などの熱量が使われたと推測される。

れる。また IDEA のデータは完全に正確というものではなく、常に最新の研究、あるいは企業や自治体からの信頼できる LCA 結果によりアップデートされるという性質のものであり、今後修正の可能性もある。一方で東彼杵町の生ごみ焼却にかかるプロセスは農村部の生ごみ焼却手順として一般的なものであり、そのプロセスを詳細に把握したことから、今回の結果には一定程度の代表性が備わっていると考えられる。

3-3-1.大木町・バイオガスプラントと東彼杵町・焼却処理の費用

評価範囲は GHG と同様で図-3、図-4 の点線囲の部分である。具体的には次のようにイニシャルコストとランニングコストを算出し、両システムの生ごみ等処理の費用を求めた。イニシャルコストについては、大木町は施設費 7.9 億円の償還期間（＝ライフタイム）50 年として計算。東彼杵町では 1981 年の焼却場建設費 7.4 億円、2002 年の改修費 14.2 億円の各値を 2017 年度（設備更新直前）が最終年としてそれぞれの使用年数で除し、可燃ごみ処理量（湿潤量）に占める東彼杵町の生ごみ処理にかかる分を算出した。車両の購入がある場合は車格によって耐用年数を 5 年、6 年、7 年と設定し、耐用年数を超えて稼働しているものは耐用年数＝稼働年数として計算した。施設、車両ともに残存価格は取得額の 0%とした。ランニングコストはフローデータをもとに副資材や水光熱費、人件費やプラント内の機器や車両に掛かる修繕費、消耗品費等の実数を求めた。外部委託費がある場合はこれを加えた。これらを合計したものをランニングコストとした。大木町における消化液の保管に関するイニシャルコスト、消化液散布に係る人件費や車両燃料費等も全て含まれる。東彼杵町についてはランニングコスト合計から同町の生ごみ分のみを求めた。数値、金額等はいずれも両町へのヒアリングによるものである。

結果は表-5 の通り、生ごみ等の処理費用はバイオガスプラント処理では約 9,000 円/t、焼却処理では約 21,000 円/t となり、バイオガスプラントが半分以下の処理費用で済んでいる。なお、この値については GHG 算出の際に説明したのと同様に、東彼杵町の焼却処理ケースでは生ごみ 1t 当たりの処理費用（年間）であるが、大木町のバイオガスプラント処理ケースでは、生ごみ・し尿・浄化槽汚泥の混合物 1t の処理費用（年間）となっている。

ランニングコストではバイオガスプラント約 7,000 円、焼却約 10,000 円であり、やはりバイオガスプラントが安価であり、かつバイオガスプラントのケースでは消化液の農地還元サービスまで含めており循環型社会形成という点からも評価できる。

表-5 バイオガスプラントと焼却での生ごみ等の処理費用の比較

項 目	大木町 バイオガスプラント	東彼杵町 焼却
イニシャルコスト	2,204円	10,845円
ランニングコスト	6,949円	9,945円
1t当たりの処理費用	9,153円/t	20,799円/t

3-4. GHG 結果からの考察

バイオガスプラントによる生ごみ処理・利活用は、焼却処理に不向きな含水率の高い生ごみを可燃ごみから除外することでもある。大木町・バイオガスプラントと東彼杵町・焼却施設との生ごみ等の処理にかかる GHG 排出量の比較より、仮に現在焼却処理している全国の家庭由来生ごみ 692 万トン⁸をバイオガスプラント処理すると、削減できる GHG は 1,446,280t-CO₂（約 145 万トン-CO₂/年）となる。これを電力換算すると 2,620,513,796kWh（260 万 MWh）となり、1 世帯当たりが 1 年間に消費する電力量を 4,175 kWh とすると（環境省 2021）、627,668 世帯分となる。これは東京都の全世帯数の 8.3%となる⁹。

3-5. 小括

GHG 排出量比較、コスト比較より、自治体の一般廃棄物のうち高含水率の有機系廃棄物の処理方法は、焼却処理よりもバイオガスプラント処理の方が高効率と判断された。特に GHG 比較ではバイオガスプラントの方が約 10 倍優位であり、焼却処理一辺倒の我が国の廃棄物行政の方向転換の必要性が高いことが示された。

ただし、前述したように全国にバイオガスプラントを普及させるためには、いくつかの課題が残る。第 5 章ではこれら課題のうち消化液利用の課題について考察する。

⁸ 環境省 2023A 食品廃棄物等の利用状況等（令和 2 年度推計）。
<https://www.env.go.jp/content/000140159.pdf>（2025 年 2 月 15 日参照）

⁹ あるいは奈良県、滋賀県、山口県、愛媛県、長崎県の各県でも概ね全世帯を賄える GHG 量となる。

第4章 高温好気性発酵とバイオガスプラントの比較分析

-成功事例の2自治体の比較-

4-1. 研究背景と研究目的

【研究背景】

- (1) 環境省や農林水産省によれば、家庭由来の生ごみ、し尿、浄化槽汚泥はバイオガスプラントと高温好気性発酵が対象物をウエット状態のまま資源化できる点で評価されている。この2種類の方式をイニシャルコストのみで比較すると、処理する投入物の単位重量当たりで見た設置費用は高温好気性発酵処理の方が安価になる傾向がある（表-6 参照）。これは、バイオガスプラントは発酵タンクが完全な密閉型でなければならないために、また発酵過程で発生する硫化水素への対応のためにタンクや周辺設備にステンレスなどの高価な材料を用いる必要があるのに対し、高温好気性発酵処理では発酵タンクにはそれほど高度な密閉性は必要なくタンク材料も耐水性コンクリートなどで良く、その他の施設や配管についても特段の条件が必要ないことに起因する。一方で高温好気性発酵処理では曝気のために多くの電力を要するためにランニングコストが大きくなる。
- (2) 上記のようにバイオマス資源を循環利用した、高温好気性発酵とバイオガスプラントの成功事例自治体が存在する。

【研究目的】

- (1) 自治体が扱う高含水率有機系廃棄物を循環利用する場合の、バイオガスプラントと高温好気性発酵の特徴を把握する。
- (2) こうした循環事業では消化液の運搬と散布が GHG を押し上げる主原因ではないかとの批判があるため、それを確認する。

【研究背景】

自治体が一般廃棄物の再資源化や減量化のために、生ごみ、し尿、浄化槽汚泥を液状のまま処理・変換する施設方式は、バイオガスプラント方式、または高温好気性発酵方式が代表的であると考えられる。自治体が設備導入計画を策定する際にこれらの違いを明確に理解した上で、適切にいずれかの方式を選択するのは現状では困難であると考えられる。

4-2. 分析手法と調査対象、調査期間等

【分析手法】

- ・本章においても第3章と同じく LCA のプロセス分析法を用いる。

- ・費用等の分析手法においても第3章と同様である。

【調査対象】

バイオガスプラント事例として大木町（福岡県）を高温好気性発酵の事例として築上町（福岡県）を調査対象とした。

両町ともに消化液を利用した地域内農業の活性化に取り組んでおり、築上町では「平成18（2006）年度バイオマス利活用優良表彰」でバイオマス活用協議会会長賞を受賞している¹⁰。大木町では「第8回（2020年）グッドライフアワード」にて環境大臣賞を受賞している¹¹。

それ以外にも2町へは消化液利用やその農産物販売等を中核とした町おこしの内情を見学するために全国から市町村議員や自治体職員、農業者団体、研究機関、市民グループなどが年間を通じて訪れている。すなわち両町のような有機系廃棄物を原料とした消化液の農業利用・循環事業は社会から関心を持たれ、かつ一定程度評価されている成功事例と考えて良いと判断した。以下に2町の概要を記載する。

●大木町概要

総人口 13,820 人

耕地面積 977 ha

総農家数 592 戸、うち販売農家数 413 戸

●築上町概要

総人口 17,189 人

耕地面積 1,880 ha

総農家数 906 戸、うち販売農家数 644 戸

（出典：総人口は総務省 令和2年国勢調査、耕地面積は令和4年面積調査、総農家数・販売農家数は2020年農林業センサス）

¹⁰ バイオマス利活用優良表彰事業は農林水産省、(社)日本有機資源協会等の主催により実施。同表彰の選考では①地域性、②継続性、③地域貢献性、④先進性・モデル性を総合的に勘案し、経済的にメリットがあり持続可能な利活用システムかという点が特に重要視された。

¹¹ 持続可能な社会の実現のため、一人一人が現在のライフスタイルを見つめ直すきっかけを作り、ライフスタイルイノベーションの創出やパートナーシップの強化を目指し、「環境と社会によい暮らし」やこれを支える地道な取組について、優秀なものについて環境省からグッドライフアワード賞が贈られる。

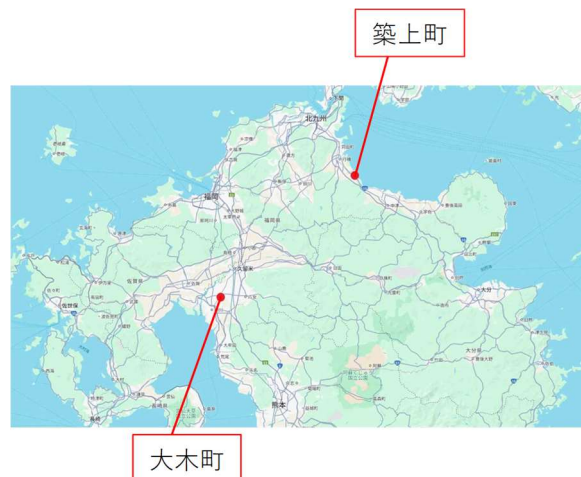


図-5 大木町と築上町の位置

(引用元：Google 社、Google マップ)

大木町では 2006 年から、町内の生ごみ、し尿、浄化槽汚泥をバイオガスプラントに投入し、嫌気発酵後の液肥を町内耕種農家の圃場に散布している。大木町の液肥化事業では、各家庭で生ごみを分別し、ごみステーションに設置した大型ポリバケツに生ごみを直接入れる方法を採用しており、その収集率の高さ（全生ごみの 9 割以上）と精度の高さ（不純物の混入が極めて少ない）が全国的に注目されている。

築上町では 1994 年から、町内のし尿、浄化槽汚泥を高温好気性発酵プラントに投入し、変換後の液肥を町内の圃場に散布している。築上町は西日本における液肥利用の草分け的存在であり、これまでに水稻、麦、ナタネ、レタス、高菜など多くの作物に対する液肥の施用手法を確立している。液肥を用いた栽培技術の高さから、築上町は中国¹²やベトナム¹³など海外も含め、自治体へ液肥散布に関する技術的支援も行っている。

【調査期間(データ分析期間)】

各種データは両自治体担当課や委託業者へのヒアリングによって得た。大木町、築上町ともに 2011 年度、2012 年度の 2 カ年分データの平均を用いている。本節の研究では上述の両町概要のデータと異なる部分（人口等）があ

¹² JICA、中華人民共和国「金壇市における環境教育に基づく豚糞尿液肥利利用の耕畜連携支援プロジェクト」2010 年 6 月～2012 年 3 月

¹³ JICA、ベトナム、ダナン市「都市し尿のバイオマス液肥化による環境改善ならびに農家支援事業」2015 年 3 月～2017 年 3 月。

るが、特に断りのない限り調査期間中（2011 年度、2012 年度）に得たデータを元になっている。

4-2-1. 研究対象

表-6 は 2 町のプラント概要を示している。特に日処理能力の項目にあるように大木町のバイオガスプラントではし尿、浄化槽汚泥に加え生ごみを処理しているが、築上町の高温好気性発酵ではし尿と浄化槽汚泥のみを処理している。この投入物が異なる問題については両施設の GHG 比較の項目で課題を整理し、その解決手法を提案し、実際にその手法で GHG 比較を実施する。

表-6 大木町と築上町の基礎情報

項 目	バイオガスプラント 大 木 町	高温好気性発酵 築 上 町
人口(人)	14,500	20,100
施設名称	大木町バイオマスセンター	築上町有機液肥製造施設
方 式	メタン発酵中温湿式発酵	高温好気性発酵
日処理能力(t)	し尿 7.0 浄化槽汚泥 30.6 生ごみ 3.8	し尿・浄化槽汚泥 18.7
処理量・湿潤量(t/年)	約12,000	約9,100
投入物の内訳(t/年)	し尿 2,358 浄化槽汚泥 8,171 生ごみ 1,193	し尿 6,456 浄化槽汚泥 2,620
投入物に含まれる炭素量(t/年)	187.4	78.2
液肥量(m ³ /年)	約5,200	約8,600
液肥の農地散布面積(ha/年)	約100	約260
イニシャル費用(施設)	7.9億円	2.2億円
イニシャル費用(車両)	6,500万円	4,000万円

4-2-2. バイオガスプラントと高温好気性発酵の評価範囲

評価範囲は、対象となる廃棄物の収集運搬工程から、プラントでの処理変換工程、そして液肥利用工程までとした。図-6 に大木町、築上町における高含水率の有機廃棄物液肥化事業の大まかな流れを示す。図中、点線で囲われた部分が LCA 評価対象となる。LCA では「製品のゆりかごから墓場まで」を評価するが、本研究では一般廃棄物処理にともなう有機廃棄物の液肥化事業を自治体のサービスとして評価した。例えば、前述した大木町の家庭から生ごみ分別されてごみステーションに出された以降が図中の「収集運搬」となり、また両町の肥料としての消化液の利用は「消化

液運搬」「消化液散布」にてそれぞれカウントされる。なお本調査においてはシステム運営にかかるフロー分のエネルギーや副資材を対象とし、プラント本体や施設内の機器、車両等のイニシャル分は対象外とした（前述 3-2、p11 の通り）。

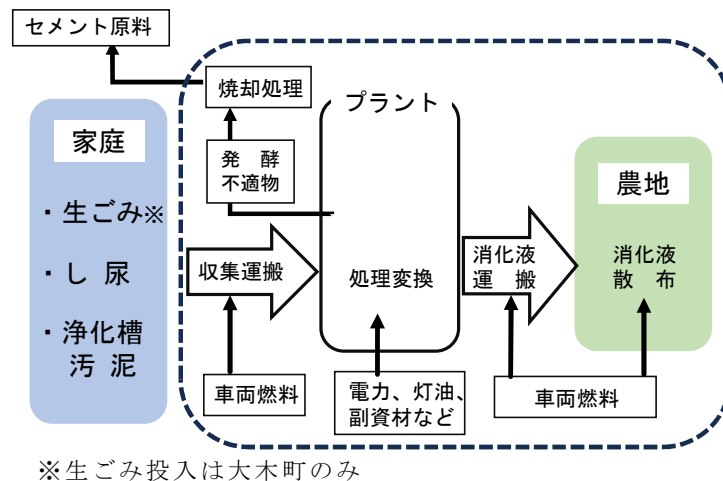


図-6 大木町と築上町の液肥循環事業の評価範囲

4-3.単純比較での GHG に関する分析結果

4-3-1.インベントリ分析

(1) 2 町の液肥化事業のプロセスと活動量

インベントリ分析では評価範囲内の活動に投入される電力や燃料、資材などの定量化を行う。インベントリ分析に必要となるデータは、大木町、築上町それぞれ表-7のように両町のプロセスに沿って活動量を整理した。両町の事業とも、収集物に金属やプラスチックなどの不純物が混入するが、それらはプラントでの処理工程で分別され、焼却ごみや不燃ごみとして扱われている。こうした発酵不適物やタンクに残る固形物等に関しては、表-3に記載の No.8 と 9 の「生ごみ不適物」、No.10 と 11 の「前処理し渣」、No.12 と 13 の「発酵槽堆積物」としてカウントした。これら有機液肥の原料とならないものは、総投入量のうち重量ベースで大木町のバイオガスプラントで 0.54%、築上町の高温好気性発酵プラントで 0.14%とわずかである。表-7 に対応する GHG 排出原単位（CO₂ 換算）を表-8 に示す。

表-7 2 町の液肥化事業のプロセスと活動量

大木町・バイオガスプラント

プロセス	活動項目	評価対象	活動量(年)	活動量の内容	備考
廃棄物の収集運搬工程	1 生ごみ収集	2tトラック	19,680 km	走行距離	標準積載率58%
	2 生ごみ収集用バケツ設置	軽トラック	26,248 km	走行距離	標準積載率58%
	3 し尿収集	4tトラック	20,347 km	走行距離	標準積載率58%
	4 浄化槽汚泥収集	4tトラック	63,178 km	走行距離	標準積載率58%
	5 車両メンテナンス(エンジンオイル)	エンジンオイル製造	308 L	消費量	
プラントでの処理工程	6 除砂輸送	10tトラック	96 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	7 除砂処理	焼却処理(産廃)	5 t	消費量	
	8 生ごみ不適合物輸送	4tトラック	7 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	9 生ごみ不適合物処理	焼却処理(一廃、発電なし)	44 t	消費量	
	10 前処理し渣輸送	4tトラック	7 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	11 前処理し渣処分	焼却処理(一廃、発電なし)	9 t	消費量	
	12 発酵槽堆積物輸送	4tトラック	7 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	13 発酵槽堆積物処分	焼却処理(一廃、発電なし)	5 t	消費量	
	14 電力使用	電力	110,830 kWh	消費量	
	15 灯油の輸送	軽トラック	5 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	16 灯油使用	灯油の燃焼	1,340 L	消費量	
	17 活性炭の使用	活性炭の製造	12,600 L	消費量	
	18 活性炭の輸送	10tトラック	11 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	19 ボリ鉄の使用	ボリ鉄の製造	1,032,973 円	購入金額	
	20 ボリ鉄の輸送	10tトラック	9,375 L	消費量	
	21 硫化鉄の使用	硫化鉄の製造	62 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	22 硫化鉄の輸送	10tトラック	560 kg	消費量	
	23 苛性ソーダの使用	苛性ソーダの製造	103 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	24 苛性ソーダの輸送	10tトラック	6,855 L	消費量	
	25 次亜塩素酸ソーダの使用	次亜塩素酸ソーダの製造	62 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	26 次亜塩素酸ソーダの輸送	10tトラック	438 L	消費量	
	27 上水の使用	水道水	62 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	28 液肥の運搬(軽トラ)	軽トラック	4,917 m3	消費量	
	29 液肥の運搬(4tトラック)	4tトラック	17 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	30 液肥の散布	4tトラック	7,150 km	走行距離	標準積載率58%
	31 車両メンテナンス(エンジンオイル)	クローラーの燃料(軽油)	2,640 L	軽油消費量	
		エンジンオイル製造	120 L	消費量	

築上町・高温好気性発酵プラント

プロセス	活動項目	評価対象	活動量(年)	活動量の内容	備考
廃棄物の収集運搬工程	1 し尿収集	4tトラック	5,629 km	走行距離	標準積載率58%
	2 浄化槽汚泥収集	4tトラック	47,327 km	走行距離	標準積載率58%
	3 車両メンテナンス(エンジンオイル)	エンジンオイル製造	152 L	消費量	
プラントでの処理工程	4 前処理し渣輸送	軽トラック	4 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	5 前処理し渣処理	焼却処理(一廃、発電なし)	12 t	消費量	
	6 発酵槽堆積物輸送	2tトラック	202 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	7 発酵槽堆積物処理	焼却処理(産廃)	2 t	消費量	
	8 電力使用	電力	428,864 kWh	消費量	
	9 発酵促進剤の使用	発酵促進剤の製造	2 t	消費量	
	10 発酵促進剤の輸送	10tトラック	486 km	プラントへの距離	標準積載率58%
	11 上水の利用	水道水	636 m3	消費量	
液肥の運搬・散布工程	12 液肥の運搬と散布	クローラー、バキュームカーの燃料(軽油)	9,291 L	燃料(軽油)年間消費量	
	13 車両メンテナンス(エンジンオイル製造)		100 L	消費量	

(2) GHG 対象ガスと排出原単位

GHG の対象は IPCC インベントリガイドラインで定められた CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆ の 6 種類¹⁴の温室効果ガスとし、表記は全て kg-CO₂ 換算とした。LCA 分析ソフト MiLCA に格納されている IDEA.Ver.1¹⁵の基礎情報を用いて GHG 排出原単位を算出した。算出した原単位は表-8 の通り。

¹⁴ 2019 年から NF₃ (三ふっ化窒素) が加えられ計 7 種類となった。

¹⁵ 一般社団法人 産業環境管理協会が提供している LCA ソフトウェア、2013 年に公開されたもの。

表-8 GHG 排出原単位

項 目	GHG排出原単位(CO ₂ 換算)
灯油(燃烧)	2.67 kg-CO ₂ /ℓ
軽油(燃烧)	2.88 kg-CO ₂ /ℓ
活性炭(製造)	9.53 kg-CO ₂ /kg
水道水	0.38 kg-CO ₂ /m ³
電力	0.55 kg-CO ₂ /kWh
ポリ鉄(製造)	
MILCAのデータに「ポリ鉄」がないため、最も類似する「その他の無機化学工業製品製造」の値を使用	0.04 kg-CO ₂ /円
苛性ソーダ(製造)	
MILCAのデータに「苛性ソーダ」がないため、最も類似する「その他のソーダ工業製品」の値を使用	1.35 kg-CO ₂ /kg
次亜塩素酸ソーダ(製造)	0.41 kg-CO ₂ /kg
硫化鉄(製造)	2.49 kg-CO ₂ /kg
発酵促進剤(製造)	
MILCAのデータに「発酵促進剤」がないため、最も類似する「その他の他に分類されない有機化学工業製品」の値を使用	4.17 kg-CO ₂ /kg
エンジンオイル(製造)	0.79 kg-CO ₂ /ℓ
焼却処理(一廃、発電なし)	0.028 kg-CO ₂ /kg
焼却処理(産廃)	2.71 kg-CO ₂ /kg
10tトラックによる輸送	0.13 kg-CO ₂ /tkm
4tトラックによる輸送	0.15 kg-CO ₂ /tkm
2tトラックによる輸送	0.23 kg-CO ₂ /tkm
軽トラックによる輸送	0.55 kg-CO ₂ /tkm

ただし、IDEA.Ver1 には流通している全ての製品・物質のデータは格納されておらず、そうした対象を扱う場合は類似の製品または物質の物量ベースの LCA データを取得することができる。表-8 中の苛性ソーダ、発酵促進剤については個別のデータがないため、各々最も類似する細々分類項目の値を用いている。さらに類似製品・物質が金額（円）ベースでしかないものもある。表-8 中のポリ鉄がそうであり、この際、原単位は円である。

4-3-2. 分析結果（環境影響評価：GHG 排出量と割合）

表-7 の活動量に表-8 の GHG 排出原単位を乗じて GHG 排出量を求めた。両町の「廃棄物の収集運搬工程」に関する GHG 排出量については、走行距離データをもとに算出したものと、実際の車両の燃料消費量から算出したものとは、燃料消費量データから算出したものの方が約 2 倍の値となった。これは廃棄物収集運搬という業務では発進と停車を繰り返すため燃料消費量が大きくなるためである。よって「廃棄物の収集運搬工程」において当該車両の走行距離データをもとに GHG 排出量を求めるケースでは、より現実に近い値を求めるために収集運搬の係数として 2 を乗じた。その結果、両町の GHG 排出量・表-9 を得た。また、両プラントにおける GHG 排出割合を表-10 に示す。表-9 中の大木町・バイオガスプラントの「14. 電力使用 61,389 kg-CO₂」は施設全体の総電力消費量からバイオガス発電量を差し引いた正味のエネルギー消費量から算出している。仮にバイオガス発電がない場合、同電力使用における排出は 130,710 kg-CO₂ という大きな値となる。もっとも、同プラントにおけるバイオガス発電による電力自給率は 68%にとどまっている。

表-9 GHG 排出量
大木町・バイオガスプラント

プロセス	活動項目	GHG排出量(kg-CO ₂ /年)
廃棄物の収集運搬工程	1 生ごみ収集	10,319
	2 生ごみ収集用バケツ設置	5,891
	3 し尿収集	14,611
	4 浄化槽汚泥収集	45,368
	5 車両メンテナンス(エンジンオイル)	244
プラントでの処理工程	6 除砂輸送	59
	7 除砂処理	12,880
	8 生ごみ不適物輸送	51
	9 生ごみ不適物処理	1,217
	10 前処理し渣輸送	11
	11 前処理し渣処分	254
	12 発酵槽堆積物輸送	5
	13 発酵槽堆積物処分	127
	14 電力使用	61,389
	15 灯油の輸送	3
	16 灯油使用	3,576
	17 活性炭の使用	54,039
	18 活性炭の輸送	8
	19 ポリ鉄の使用	38,916
	20 ポリ鉄の輸送	113
	21 硫化鉄の使用	1,395
	22 硫化鉄の輸送	8
	23 苛性ソーダの使用	13,884
	24 苛性ソーダの輸送	83
	25 次亜塩素酸ソーダの使用	199
	26 次亜塩素酸ソーダの輸送	4
	27 上水の使用	1,850
液肥の運搬・散布工程	28 液肥の運搬(軽トラ)	380
	29 液肥の運搬(4tトラック)	2,246
	30 液肥の散布	7,614
	31 車両メンテナンス(エンジンオイル)	95
計		276,841 kg-CO ₂ /年

築上町・高温好気性発酵プラント

プロセス	活動項目	GHG排出量(kg-CO ₂ /年)
廃棄物の収集運搬工程	1 し尿収集	4,042
	2 浄化槽汚泥収集	25,490
	3 車両メンテナンス(エンジンオイル)	120
プラントでの処理工程	4 前処理し渣輸送	26
	5 前処理し渣処理	318
	6 発酵槽堆積物輸送	68
	7 発酵槽堆積物処理	4,062
	8 電力使用	237,549
	9 発酵促進剤の使用	9,700
	10 発酵促進剤の輸送	147
	11 上水の利用	239
液肥の運搬・散布工程	12 液肥の運搬と散布	26,797
	13 車両メンテナンス(エンジンオイル製造)	79
計		308,637 kg-CO ₂ /年

表-10 工程別 GHG 排出割合

工 程		大 木 町 バイオガスプラント		築 上 町 高温好気性発酵プラント	
廃棄物の収集運搬工程		27.6%		9.6%	
プラントでの処理工程	発酵不適物等の処理由来	5.3%	68.7%	1.4%	81.7%
	副資材由来	41.2%		3.3%	
	電力由来	22.2%		77.0%	
液肥の運搬・散布工程		3.7%		8.7%	
計		100%		100%	
GHG総排出量 (kg-CO2/年)		276,841		308,637	

両プラントとも「プラントでの処理工程」に占める GHG 排出割合が最も大きい。プラントでの処理工程の内訳は、バイオガスプラントでは投入される副資材由来の GHG 排出割合が 41.2%と最も大きく、高温好気性発酵では曝気運転（エアブローア）による電力由来が 77%となっている。「廃棄物の収集運搬工程」に関して、大木町では生ごみ収集を週 2 回実施している。具体的には、ごみステーションに設置した大型バケツに各家庭から生ごみが出され、2t トラック 2 台でこの大型バケツを収集し、軽トラック 2 台で洗浄した大型バケツを翌日収集予定のステーションに設置する。この工程の GHG 排出量が表-9 の「生ごみ収集 10,319kg」と「生ごみ収集用バケツ設置 5,891kg」の合計 16,210kg となる。一方、築上町では家庭系生ごみは可燃ごみとして他のごみと一緒に収集・処理しているので、本 LCA の評価範囲に含まれていない¹⁶。

【消化液を肥料として運搬・散布する際の GHG】

表-10 の「液肥の運搬・散布工程」の GHG 排出割合を見ると、大木町 3.7%、築上町 8.7%といずれも分類中最下位であった。このことから、液肥運搬・散布を起因とする GHG 排出は液肥化事業の環境評価を下げる主要原因になっていないことがわかる。より具体的には、両町の「液肥の運搬・散布工程」の GHG 排出量は表-9 より大木町 10,336kg、築上町 26,876kg で、液肥散布総面積は大木町約 100ha、築上町約 260ha である。よって散布面積当たりの「液肥の運搬・散布工程」の GHG 排出量は大木町、築上町ともに 103 kg- CO₂/ha であった。

4-4. 炭素量を基準にした GHG 算出（原料が異なるプラント比較のための考察）

本節では機能単位を、それぞれの町が 1 年間に取り扱う有機系廃棄物の液肥への転換と圃場還元を設定した。また、両町を比較する際、その原料の種類が異なるため

¹⁶ 本研究では液肥製造プラントを中心に「有機系廃棄物の液肥化と農地還元」にかかる環境負荷（GHG）とコスト（経済性）を対象としているため、生ごみ・し尿・浄化槽汚泥を液肥製造プラントのみで処理している大木町と、液肥製造プラントと他の処理方法（RDF プラント）とを併用している築上町との評価範囲は一致しない。

（表-6 参照）、原料に含まれる炭素量を基準として GHG 排出量を算出した。本節では GHG 排出量を投入炭素（C）の重量で除した値を用いることで、異なるバイオマス原料の液肥化事業の評価を試みた。

有機物の肥料化のメカニズムは非常に複雑であるが、肥料化は発酵を通じて投入原料から炭素を除去する工程でもある。肥料として利用するためには適切な発酵により、なるべく多くの炭素（C）をメタンガス（CH₄）や二酸化炭素（CO₂）の形でガス化して除去し、窒素やリンが主体の肥料とする必要がある。よって、本研究では異なるバイオマス原料からの肥料製造を比較する場合、その基準を原料の湿重量ではなく炭素重量に置くことがより適していると考えた^{17 18}。

その結果を表-11 にまとめると、築上町の高温好気性発酵プラントでは投入される炭素 1kg につき 4.0kg-CO₂ を排出するのに比べ、大木町のバイオガスプラントではその約 38%の 1.5kg-CO₂ であることが確認された。投入炭素量を基準とした LCA では、バイオガスプラントの方がより少ない CO₂ で処理されていることが示された。

表-11 両町の有機廃棄物液肥化事業の GHG 排出量での比較

項 目	大木町 バイオガスプラント	築上町 高温好気性発酵
投入した原料の 総炭素量(kg)	187,370	78,229
収集・処理・液肥利用工程の 総GHG排出量(kg-CO ₂)	276,844	308,637
投入した炭素1kg当たりの GHG排出量(kg-CO ₂ /kg)	1.5	4.0

表-12 投入バイオマス 1t（湿重量）当りの GHG 排出量

バイオマス種別	大木町 バイオガスプラント	築上町 高温好気性発酵
し尿	13kg-CO ₂	36kg-CO ₂
浄化槽汚泥	11kg-CO ₂	30kg-CO ₂
生ごみ	132kg-CO ₂	投入なし

¹⁷ 以下の設定で試算。生ごみの含水率 80%、炭素含有率 44%。生し尿の含水率 98%、炭素含有率 45%。浄化槽汚泥の含水率 98%、炭素含有率 38%

¹⁸ 表-2 の各種投入物量から表-3 の各発酵不適物を差し引いた量をもとに試算。

また、し尿、浄化槽汚泥、生ごみの各原料に含まれる炭素量を基準として、原料ごとの GHG 排出量をもとめ、その値を各原料の湿重量で除すことで原料別・湿重量当たりの GHG 排出量をもとめ表-12 にまとめた。築上町の高温好気性発酵プラントのケースではし尿 1t（湿重量）を処理するために 36kg-CO₂ を排出するが、大木町のバイオガスプラントではそれよりも少ない 13 kg-CO₂ であった。浄化槽汚泥 1t（湿重量）の処理についても、築上町・高温好気性発酵処理で 30kg-CO₂、大木町バイオガスプラントで 11kg-CO₂ であり、大木町・バイオガスプラントの方が約 1/3 少ない値であった。また、大木町・バイオガスプラントの生ごみ 1t（湿重量）の処理で排出される GHG は 132kg-CO₂ であったが、築上町では生ごみを高温好気性発酵プラントに投入していないので、生ごみ処理に関する比較データは得られていない。

4-4-1.炭素量を基準にした費用算出（原料の異なるプラント比較のための考察）

次のように各費目の費用を算出し、2 町の年間の液肥事業の費用合計を求めた。プラント本体や建屋の建設価格を施設費とし、償還期間（＝ライフタイム）50 年として計上した¹⁹。バキュームカーや散布車両の購入価格を車両費とし、車格によって耐用年数を 5 年、6 年、7 年と設定し、耐用年数を超えて稼働しているものは耐用年数＝稼働年数として計算した。ランニングコストはフローデータをもとに副資材や水光熱費等の実数をもとめた。また、人件費やプラント内の機器や車両に掛かる修繕費等の実数をもとめた。これらを合計したものを費用合計とした。なお、プラント価格に関しては、バイオガスプラントでは発酵槽が密閉式のため、開放式の高温好気性発酵プラントよりも高額になる傾向がある。また、バイオガスプラントでは発酵工程で発生するメタンガスに硫化水素が含まれ、それが鉄などの金属を腐食させるため脱硫装置が必須であり、さらに多くの機器や配管を耐食性の高いステンレス製にするなどの対応が必要となるため、バイオガスプラントでは高温好気性発酵プラントよりも施設費用が高額になる傾向がある。

本項では異なる投入物の液肥化事業を比較するため、プラントに投入した原料に含まれる炭素 1t 当たりを基準とし、両プラントの経済性を比較した。その結果、表 13 のように大木町・バイオガスプラントでは約 572,000 円、築上町・高温好気性発酵では約 642,000 円となり、その差は 7 万円であった（表-13）。

この 7 万円/炭素 t について補足すると次のようになる。築上町のコストを大木町と同様の 572,000 円/炭素 t にするためには、築上町は実費で約 550 万円/年のコストダウンが必要である。もしくは築上町の現在コストを維持したまま、生し尿を約 770t と浄化槽汚泥約 330t をそれぞれ多く受け入れるか、新規に生ごみを約 108t 受け入れる必要がある。以上のことから、大木町・バイオガスプラントと築上町・高温好気性発酵プラントについて、その施設費、車両費、ランニングコスト等、事業に必要な

¹⁹ 大木町、築上町ともに想定している実質的使用期間が 50 年であったためその値を用いた。

な費用で比較すると、大木町・バイオガスプラントの方がトータルコストは小さくなることが示された。

表-13 2町の有機廃棄物液肥化事業の費用

費 目	大木町 バイオガスプラント	築上町 高温好気性発酵
施 設 費（減価償却費）	15,760,000	7,654,000
車 両 費（減価償却費）	10,071,458	5,297,169
ランニングコスト （水光熱費、消耗品費、車両燃料費、人件費、プラント修繕費、車両修繕費等）	81,434,423	37,297,531
費用合計(円)	107,265,881	50,248,700
投入物に含まれる炭素量	187.4t	78.2t
投入した炭素1t当たりで見た費用(円)	572,000	642,000

表-14 投入バイオマス 1t（湿重量）当りの処理にかかる費用

バイオマス種別	大木町 バイオガスプラント	築上町 高温好気性発酵
し尿	5,164円	5,786円
浄化槽汚泥	4,399円	4,934円
生ごみ	51,580円	投入なし

また、し尿、浄化槽汚泥、生ごみの各原料に含まれる炭素量を基準として、原料ごとの処理費用をもとめ、その値を各原料の湿重量で除すことで原料別・湿重量当たりの処理費用をもとめ表-14にまとめた。築上町の高温好気性発酵処理プラントのケースではし尿 1t（湿重量）を処理するために 5,786 円を要しているが、大木町のバイオガスプラントでは 5,164 円とそれよりも安く済んでいる。浄化槽汚泥についても大木町のバイオガスプラントの方が安価であった。また、大木町では生ごみ 1t（湿重量）の処理に 51,580 円が必要であるが、築上町では生ごみを高温好気性発酵プラントに投入していないので、生ごみ処理に関する費用比較データは得られていない。

4-5. 小括

本章では以下が確認された。

- ・大木町では生ごみ分別回収のため収集運搬工程での GHG 排出割合が高い。
- ・両プラントともプラントでの処理工程に占める GHG 排出割合が最も大きい。
- ・バイオガスプラントでは副資材、高温好気性発酵では曝気用の電力からの GHG が多い。
- ・大木町、築上町ともに液肥運搬・散布工程は循環事業の環境評価を下げる主原因になっていない。
- ・考察として、炭素量を基準にした GHG 算出、炭素量を基準にした費用算出を行ったが、その結果は、自治体の一般廃棄物のうち高含水率の有機系廃棄物の利活用事業に用いる処理方法は、高温好気性発酵よりもバイオガスプラント処理が効率が良いというものだった。
- ・高温好気性発酵はバイオマス原料の炭素量に従って曝気量・電力量が大きくなると推察される。またバイオガスによる発電もない。よって炭素量の大きな処理についてはバイオガスプラントが優位であると推察される。

第 5 章 新規開発の濃縮液肥の LCA 評価と費用算出

5-1.研究背景と研究目的

第 1 章（表-1）で確認したように、一般廃棄物の生ごみ等の処理方法としてのバイオガスプラントは普及していない。その原因は消化液利用が進まないことにある。消化液の普及阻害原因は、以下（1）（2）のようにまとめられる。

【研究背景】

消化液の成分、性状に起因する普及阻害原因

- (1) 窒素成分などの栄養素が市販品の液肥と比較して希薄

消化液の 95% 以上が水分で、そのため運搬・散布コストが高くなる。さらに消化液の運搬・散布のために専用車両が必要となる（浅井 2020）。

- (2) 固形分等が含有することで施用作物が限定される

消化液には微細な固形分や繊維質、SS が多く含まれているが、水田や露地栽培に対しては問題なく使用できる。しかし「養液栽培」を行う施設園芸栽培や植物工場などでは固形分等が灌水チューブを詰まらせるために使用できず、利用できる栽培体系が限られる（築上町ヒアリング 2025）

【研究目的】

- (1) 新規開発の濃縮液肥の製造、運搬、散布にかかる GHG を明らかにする。また製造、運搬、散布を行う主体の変化について確認する。
- (2) 濃縮液肥製造コストを明らかにする。

5-1-1.濃縮液肥の開発

2020 年 4 月より築上町において「濃縮液肥」の製造技術開発が新規に着手された。同濃縮液肥が開発された目的、開発者、研究開発内容等は以下の通り

- (1) 研究開発概要

2020 年（令和 2 年）4 月～2023 年（令和 5 年）2 月、築上町は九州大学農学研究院、三菱ケミカルアクア・ソリューションズ（株）、静岡県立大学、みやま市とともに福岡県リサイクル総合研究事業化センターの支援を受け、消化液の改質のための実証施設開発を行った。開発目標は下記 a.b の通りであり、近い将来、消化液濃縮施設を全国のバイオガスプラント等に販売することも視野に入れた実践的な研究である。

＜消化液改質の目標＞

a. 減容化

肥料の主要成分である窒素およびカリウムを通常の液肥に比べて約 10 倍に濃縮する（通常運転時）。

b. 固形分等の除去

養液栽培を行う施設園芸栽培、植物工場などで用いる灌水チューブを詰まらせない程度に固形分等を除去する。

上記 a は前述の普及阻害原因（1）に、上記 b は普及阻害原因（2）にそれぞれ対応している。

5-2. 分析手法

- ・ LCA、プロセス分析を用いた。
- ・ ただし、LCA では濃縮液肥の肥料成分が濃縮されているという機能、固形分が除去されているという機能は計測不可であるため、従来型の液肥との比較は行わなかった。

5-2-1. 調査対象

築上町にてこれまでの液肥の改質に向けた研究開発が行われた。本章では、この新たに開発された濃縮液肥を取り上げる。調査対象となる濃縮液肥施設の概要は次の通り。

【濃縮液肥施設概要】

- ・ 設置者：築上町
- ・ 名称：液肥濃縮施設
- ・ 設置年月：2021（令和 3）年 3 月
- ・ 処理能力：1t/日の消化液を投入可能。
- ・ 設置場所：築上町液肥センターの敷地内、消化液貯留タンクに隣接

【液肥改質の目標】

（1）肥料成分の濃縮

肥料の主要成分である窒素およびカリウムを通常の液肥に比べて約 20 倍に濃縮する。

（2）固形分等の除去

養液栽培を行う施設園芸栽培、植物工場などで用いる灌水チューブを詰まらせないように固形分等を除去する。



写真-1 従来の液肥（左）と濃縮液肥の概観（右）

(2) 同研究期間中に行われた具体的な研究活動

① 濃縮技術等（九州大学、静岡県立大学、三菱ケミカルアクア・ソリューションズ）

処理能力は消化液 1t/日。UF 膜（限外ろ過膜）と電気透析器を基本とした消化液濃縮実証施設の開発。同実証施設は研究期間中に全窒素ベースで濃縮率 20 倍など目標を達成している。また UF 膜未透過液と脱塩液が副産物として発生するが、このうち脱塩液については放流基準を前提として脱色実験を行い良好な結果を得ている。ただし脱色については一時的な実験であり、通常の運転では UF 膜未透過液と脱塩液は未処理のまま原料槽に返流している。

② 濃縮液肥を用いた栽培実証（築上町）

濃縮液肥を用いた以下の栽培実証を行い、それぞれ良好な結果を得ている。特に築上町が注力している灌水チューブでの散布実証についても濃縮液肥が灌水チューブを詰まらせることはなかった。施設型養液土耕のイチゴ栽培に対して灌水チューブでの濃縮液肥散布（汲み上げポンプと肥料混入器を使用）を行って良好な結果を得た。また一般圃場の大麦、大豆に対してブームスプレーヤーで濃縮液肥散布を行って良好な結果を得た。家庭菜園でのジョウロを用いた濃縮液肥散布を行って良好な結果を得た。一般圃場のタマネギ、水稻に対してドローンを使用した濃縮液肥の空中散布を行って良好な結果を得た。

③ 濃縮液肥を用いた栽培実証（九州大学）

施設園芸農家（福岡県糸島市）にてトマトの養液栽培（固形培地耕）に対して灌水チューブでの濃縮液肥散布（養液移送ポンプを使用）を行い良好な結果を得た。

5-2-2. 従来液肥と濃縮液肥の評価範囲

(1) 評価範囲の概要

濃縮液肥施設ならびに濃縮液肥の運搬・散布にかかる GHG ならびに費用を算定する際に用いる評価範囲は図-7 となる。従来の濃縮液肥製造の評価範囲は点線囲 A、従来の消化液の運搬・散布は B、そして新規の液肥濃縮施設で濃縮液肥製造は C、濃縮液肥の運搬・散布は D となる。

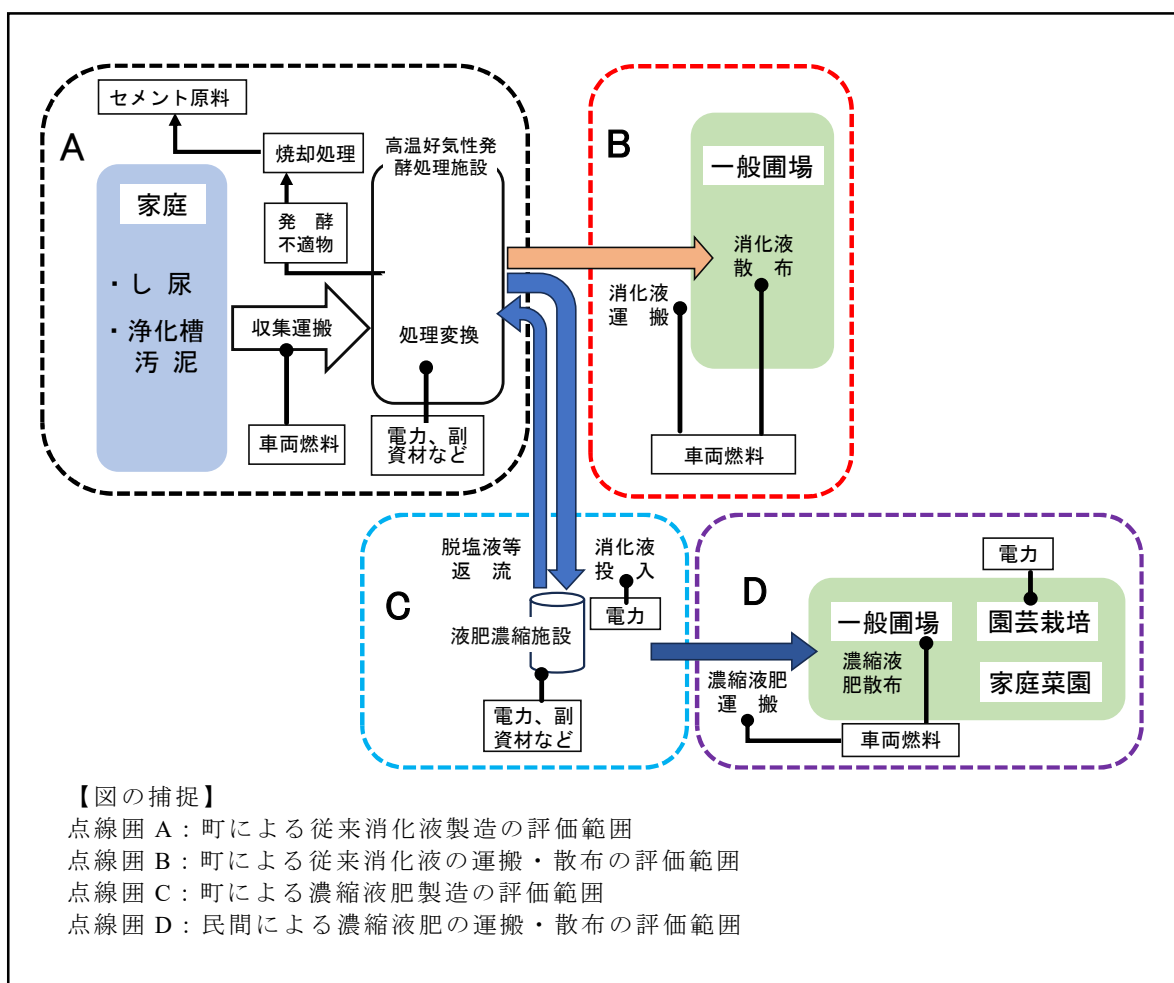


図-7 築上町・従来液肥と濃縮液肥の評価範囲

(2) 従来の消化液運搬・散布工程との差異

点線囲 C の濃縮液肥製造工程以降が、濃縮液肥の運搬と散布工程となる。濃縮液肥は需要者である農業者や町民に有料で販売、受け渡される。受け渡し場

所は濃縮液肥製造施設が設置されている「築上町有機液肥製造施設内」で、ここからは各需要者がトラックやバン、自家用車などを用いて運搬する（点線囲D）。濃縮液肥の最終工程である散布は、需要者が一般圃場や園芸施設、家庭菜園でそれぞれが散布を行う。具体的には一般圃場であればブームスプレーヤー等の乗用管理機、施設園芸の場合は養液ポンプ等、家庭菜園であればジョウロなどを用いて実施する。これらの工程が濃縮液肥の運搬・散布の評価範囲である。一方で点線囲Bの従来の消化液の運搬は築上町が実施し、全量が一般圃場に散布されている。この運搬と散布の工程を自治体が担うか、あるいは需要者が行うかという点が大きく異なる。これは他の自治体にバイオガスプラントと液肥濃縮施設をセットで普及した場合においても、消化液利用のための自治体職員の負担が少ないことを意味する。同時に従来型液肥の運搬と散布に必要なイニシャルコストとランニングコストを削減することになる。

5-2-3.調査期間

(1) 事業運転時のランニングデータの設定

2023年3月以降、液肥濃縮施設は事業運転中という扱いであるが、それ以前の2022年7月から連続運転時の電力消費量や薬剤消費量等の把握のため同施設の運転に関するデータが保存されている。そこで本GHG試算ならびに費用試算では、同施設の2022（令和4）年7月～2024（令和6）年9月の全ランニングデータから、1カ月の運転日数が20日以上、かつ消化液処理量が1カ月につき20 m³以上、かつデータが揃っている月を13ヶ月抽出した。抽出した13ヶ月は概ね夏季・冬季がバランス良く存在していたため、この13ヶ月を事業運転時（定常運転時）の基本ランニングデータとして扱う事とした。本施設の性能は外気温に影響されるので、もし抽出した月に偏りがあった場合はさらに調整を要する。抽出した13ヶ月分のランニングデータの平均値は表-15の通りである²⁰。

表-15 濃縮液肥製造施設の基本ランニングデータ（月間・年間）

期間	液肥濃縮施設 運転日数	消化液 投入量	濃縮液肥 生産量	UF膜未透過液 発生量	脱塩液 発生量
月間	27日	32,300L	423L	2,415L	29,461L
年間	329日	387,600L	5,082L	28,985L	353,534L

²⁰ 抽出月13ヶ月は次の通り。2022年：10月、11月、12月。2023年：4月、5月、7月、11月。2024年：2月、3月、4月、6月、7月、9月。なお2022年の10月、11月、12月で消泡剤の消費量データのみが欠落していたため、他の抽出月から消泡剤消費量の平均値を求め、その値をデータ欠落月の消費量とした。ランニングデータは三菱ケミカルアクア・ソリューションズ（株）、築上町からの提供による。

5-3.分析結果

5-3-1.インベントリ分析

(1) 濃縮液肥の製造・運搬・散布のプロセスと活動量

図-6 の点線囲 C の評価範囲内の活動に投入される電力や薬剤などを以下の表-16 に整理した。

(2) 返流される脱塩液等について

前出の表-15 より、濃縮液肥製造施設では消化液 387,600L/年を液肥濃縮施設に投入し、各種機器を経由して濃縮液肥 5,082L を製造していた。その際、UF 膜未透過液 28,985L と脱塩液 353,534L を副産物として発生させていた。この副産物の UF 膜未透過液と脱塩液は、現状では消化液貯留タンクに返流されている。表-16 中の No.9 がその返流分（28,985L+353,534L）に該当し、これらは消化液と自然混合した後、通常の液肥として散布されているので同量の消化液が一般圃場に運搬・散布されるものとして計上した。

5-3-2.濃縮液肥 GHG 算出結果

濃縮液肥製造施設での濃縮液肥 1L 当たりの製造にかかる GHG 量と割合を下表に示す。電力使用に最も多くの GHG を出しており（No.1）、次いで脱塩液等の返流水が多い（No.9）。No.2 と No.3 の薬剤 A,B,C については、2025 年 1 月現在、築上町・液肥濃縮施設向けの新たな洗浄方法について三菱ケミカルアクア・ソリューションズ（株）が特許申請中であるため一式として表示することで知財を保護した²¹。

表-16 築上町・濃縮液肥 1L 当たりの製造にかかる GHG 量と割合

プロセス	内容	GHG 排出量 (kg-CO ₂)	濃縮液肥1L当たり のGHG排出量 (kg-CO ₂ /L)	割合
製造工程	1 電力使用	4,408	0.8674	77.36%
	2 薬剤A,B,Cの使用	18	0.0035	0.32%
	3 薬剤A,B,Cの輸送	15	0.0029	0.26%
	4 消泡剤の使用	53	0.0105	0.94%
	5 消泡剤の輸送	5	0.0010	0.09%
	6 次亜塩素酸ソーダの使用	2	0.0003	0.03%
	7 次亜塩素酸ソーダの輸送	5	0.0010	0.09%
	8 上水の使用	0.2	0.00004	0.003%
	9 脱塩液等の副産物を「消化液」として一般圃場へ運搬・散布	1,192	0.2346	20.92%
計		5,697	1.12	100% 100%

²¹ LCA の知財保護の手法として認められている一般的な対応。

5-3-3.濃縮液肥の製造費用の算出結果

濃縮液肥の製造費用を下表に示した。割合を見ると No.1 の製造施設償却費が 55% と最も大きい。これは本施設が実証施設のため割高となっているためであり、事業化規模ではより安価になると予想される。次いで No.9 の脱塩液等の返流水の処理が 31% と大きい。築上町は脱塩液等の一般圃場への運搬と散布を費用と見ていない（従来液肥として散布するため）。よって築上町から見た濃縮液肥 1L 当たりの費用は 377 円/L（549 円-172 円）となる。次いで大きな GHG 排出源は No.2 の電力費用である。これは事業規模に拡大しても逡減しない費用であり対策が必要である（詳細は第 6 章にて述べる）。

表-17 築上町・濃縮液肥 1L 当たりの製造にかかる費用、割合

プロセス	内 容	濃縮液肥1L当 たりの費用	割 合	備 考
製造工程	1 製造施設償却費	302 円	55%	30年償却（築上町ヒアリングより）
	2 電力費用	56.9 円	10%	
	3 薬剤A,B,Cの費用	9.4 円	2%	
	4 消泡剤の費用	8.49 円	2%	
	6 次亜塩素酸ソーダの費用	0.15 円	0.03%	
	8 上水の費用	0.03 円	0.01%	
	9 脱塩液等の副産物を「消化液」として一般圃場へ運搬・散布	172 円	31%	第3章の築上町コストデータ（2011、2012年度）をもとに軽油価格を2025年1月に修正して算出。
計		549 円	100%	

なお、築上町では 2024 年 7 月より以下の価格で濃縮液肥を販売している。

- ・町民向け：55 円/L
- ・町外向け：550 円/L

従来型液肥の費用は運搬・散布費用込みで 100 円/2.5 m³なので、「町民向け濃縮液肥 55 円 L」はその 1375 倍の価格となる。この付加価値の増加分を循環事業運営に充当すべきというのが浅井(2020)の指摘である。

5-4. 考察：民間による濃縮液肥の運搬・散布の GHG 算出結果

図-7 の評価範囲 D の部分の GHG 結果を表-18 に示す。濃縮液肥 5,082L/年を（表-15）a.施設園芸を用いる農家全体、b.一般圃場を用いる農家全体、c.家庭菜園を用いる町民全体がそれぞれ同量（3 等分）を需要した場合の結果となる。運搬距離、利用手法は築上町のこれまでの実績に基づいてその平均値と考えられる値、あるいは設備、機材、車両等を設定した。

表-18 民間による濃縮液肥 1L 当たりの運搬と散布にかかる GHG 量と割合

プロセス	内容	GHG 排出量	濃縮液肥1L当たり のGHG排出量	割合	
運搬工程	1 a.施設園芸への運搬	344	0.0677	22.4%	98%
	2 b.一般圃場への運搬	23	0.0045	1.5%	
	3 c.家庭菜園への運搬	1,137	0.2237	74.1%	
散布工程	4 a.施設園芸利用（養液土耕、養液栽培）	11	0.0022	0.7%	2%
	5 b.一般圃場散布	19	0.0036	1.2%	
	6 c.家庭菜園用の散布	0	0	0%	
計		1,533	0.30	100%	100%

築上町としては従来型液肥が使えない施設園芸や家庭菜園に濃縮液肥を集中的に使用してもらいたいという考えがある。しかし、運搬工程を見ると家庭菜園での利用拡大は乗用車による少量の濃縮液肥運搬により GHG が増加することがわかる。

【補足】

濃縮液肥の運搬・散布を行う需要者と散布対象について、本インベントリでは以下のように想定した。

① 濃縮液肥の需要者と散布対象、散布量

濃縮液肥の需要者と散布対象は次の 3 種類を想定した。

- a. 施設園芸を行う農家または法人：ハウス内での散布
- b. 露地栽培を行う農家または法人：一般圃場での散布
- c. 町民：家庭菜園での散布

上記 abc の濃縮液肥の散布量（需要量）は各 1,694L/年とした。これは濃縮液肥生産量 5,082L/年を 3 等分した量である。このように想定した理由は需要者、散布対象によって GHG と費用の変化を確認しやすくするためである。また abc の需要量については現状では築上町では十分な実績がなくかつ予想がしにくいことから、このような想定値を用いることが妥当と判断した。

② 運搬工程に用いられる車両ならびに運搬距離

従来の消化液の運搬は全て町によって行われていたが、濃縮液肥については全てその需要者が運搬を担うことになっていることから、次のように運搬車両と運搬距離を想定した。表-18 中の No.1～3 が該当箇所である。

- a. 施設園芸：農家または農業法人等が所有する軽トラック（20km）
- b. 一般圃場：農家または農業法人等が所有する 2t トラック（24km）
- c. 家庭菜園：自家用車（10km）

運搬距離は濃縮液肥のこれまでの販売実績から概算した。距離はいずれも液肥センターから散布地点までの往復距離である。

③ 散布工程で用いられる機材と活動量

表-18 中 No.4～6 の abc の濃縮液肥の散布に用いる手法とその活動量を以下のように想定した。

- a. 施設園芸：川または井戸からの電動ポンプによる水の汲み上げと、その汲み上げ圧力を用いた肥料混合器により灌水チューブにて養液土耕栽培または養液栽培への散布を行うと想定した。養液栽培ではもうひとつ移送ポンプが必要となる。濃縮液肥の希釈率は実績より 50 倍とした。混合する水と濃縮液肥の全量を電動ポンプで散布するための電力と時間を求め活動量とした。
- b. 一般圃場：トラクタ牽引のブームスプレーヤーでの散布を想定した。別途、日田市（大分県）にて実施した濃縮液肥のトラクタ牽引のブームスプレーヤーによる散布実証のデータとトラクタメーカーの燃費データからトラクタの軽油消費量を求め活動量とした。
- c. 家庭菜園：ジョウロなどでの手作業による散布を想定した。よって活動量はゼロとした。

5-4-1.考察：濃縮液肥の LCA 分析の比較対象候補

本章では濃縮液肥の LCA では他との比較は行っていない。現在、バイオガスプラント消化液の濃縮等に関する技術をビジネス化している（準備中または予定を含む）メーカーを表-19 にまとめた。

前澤工業の濃縮装置が稼働後に LCA 比較を実施することが可能かもしれない。それ以外のものは、機能単位が築上の濃縮液肥に及ばないため比較できない状態である。また、第 2 章で記載したように民間のバイオガスプラント新規設置件数が増加しているため、消化液の濃縮設備についても競合状態に入ったのかもしれない。

表-19 濃縮液肥装置の開発メーカー（2025 年 2 月現在）

濃縮液肥の開発・製造者	濃縮技術	固形分等の除去	肥料成分濃縮率	国内稼働実績	築上施設との機能単位の合致
築上町ほか	UF 膜と電気透析	完全	20倍	あり	
グレンカル・テクノロジー株式会社	プラズマ・イオン乾燥	なし	2倍	あり	合致しない
シンエナジー株式会社	減圧蒸留	なし	2倍	準備中	合致しない
前澤工業株式会社	簡易な固液分離と減圧蒸留	不完全	4倍	なし	△
アーセック・バイオエナジー株式会社	簡易な固液分離とUF膜	不完全	2倍	なし	合致しない

【補足】

濃縮液肥の LCA 分析の比較対象候補として機能単位を揃えると以下のようなになる。

機能単位：灌水チューブを詰まらせず、作物が収穫できるまで数か月間散布する
(かつ消化液を原料とした濃縮液肥)

このような機能単位を具体化すると、以下の施設園芸農家での利用例（築上町・養液土耕・イチゴ）のような運搬と散布のようなものが考えられる。こうした栽培体系に対応できる濃縮液肥製造プラント同士での GHG 比較、価格比較を今後実施したい。

【例】築上町・養液土耕・イチゴでの運搬と散布

運搬工程：

- ①農家が所有する軽トラックにより 100L 農業タンクで運搬（運搬距離、往復 10km）。

散布工程：

- ②川から電動ポンプによる水の汲み上げと、その汲み上げ圧力を用いた肥料混合器（希釈率は 50 倍）により灌水チューブにて養液土耕栽培へ散布（養液栽培ではもうひとつ移送ポンプが必要となる）

5-5. 小括

本章では以下が確認された。

【機能単位の設定について】

濃縮液肥は従来型の消化液では対応できなかった養液栽培（灌水チューブ）に使用できることから、同様の機能性を持った他メーカーの濃縮液肥との LCA 比較が必要である。

【機能性の確認】

従来型消化液は自治体によって運搬・散布しなければ農家は利用できなかったが、濃縮液肥ではその機能性により運搬・散布は、需要者（農家や市民）が所有する汎用車両や既存設備を使って適切に利用できる。このことは、自治体職員の様々な消化液利用に関する業務をなくし、さらに散布車両とその運営人員にかかるコストを削減することにつながる。よって、他の自治体へのバイオガスプラント普及が容易になると考えられる。

【製造コスト】

- ・濃縮液肥の製造コストは 549 円/L であった。また築上町としてはこの金額に含まれる「返流される脱塩液等の一般圃場への従来型散布」にかかる 172 円はコストとして見ないという方針のため、築上町から見た製造費用は 377 円/L であった。
- ・製造コストのうち最も高いものは施設の償却費用であった。今後の事業化においては機材の大型化等でイニシャル費用はある程度減少すると見込まれる。またその次に大きなコストであった電力費用については第 6 章 政策提言にて詳述する。

第 6 章 おわりに

6-1. 結論

- (1) 大木町のバイオガスプラントと東彼杵町の焼却施設を比較した。
 - ・ GHG と費用のいずれの面でもバイオガスプラントの方が優位であることが確認された。
 - ・ 特に GHG に関しては、バイオガスプラントが 1/10 のスコアで済んでいた。
 - ・ よって、生ごみはバイオガスで処理した方が温暖化ガス発生を大きく抑制できる。
- (2) 大木町のバイオガスプラントと築上町の高温好気性発酵の特徴と確認した。
 - ・ 大木町、築上町ともに液肥運搬・散布工程は循環事業の環境評価を下げる主原因になっていない。
 - ・ よって生ごみ、し尿、浄化槽汚泥の消化液は、浄化放流や焼却などよりも農業利用した方が循環型社会構築から考えても良いと考えられる。
 - ・ 考察として、炭素量を基準にした GHG 算出、炭素量を基準にした費用算出を行ったが、その結果は、自治体の一般廃棄物のうち高含水率の有機系廃棄物の利活用事業に用いる処理方法は、高温好気性発酵よりもバイオガスプラント処理の方が効率が良いというものだった。
- (3) 新たに開発された濃縮液肥の LCA 評価、濃縮液肥の機能性について確認。その製造コストの算出。

【機能単位の設定について】

濃縮液肥は従来型の消化液では対応できなかった養液栽培（灌水チューブ）に使用できることから、同様の機能性を持った他メーカーの濃縮液肥との LCA 比較が必要である。

【機能性の確認】

従来型消化液は自治体によって運搬・散布しなければ農家は利用できなかったが、濃縮液肥ではその機能性により運搬・散布は、需要者（農家や市民）が所有する汎用車両や既存設備を使って適切に利用できる。このことは、自治体職員の様々な消化液利用に関する業務をなくし、さらに運搬・散布車両とその運営人員にかかるコストを削減することにつながる。よって、他の自治体へのバイオガスプラント普及が容易になると考えられる。

【製造コスト】

- ・濃縮液肥の製造コストは 549 円/L であった。また築上町としてはこの金額に含まれる「返流される脱塩液等の一般圃場への従来型散布」にかかる 172 円はコストとして見ないという方針のため、築上町から見た製造費用は 377 円/L であった。
- ・製造コストのうち最も高いものは施設の償却費用であった。今後の事業化においては機材の大型化等でイニシャル費用はある程度減少すると見込まれる。またその次に大きなコストであった電力費用については本章の政策提言にて詳述する。

(4) 総 論

生ごみ、し尿、浄化槽汚泥等の高含水率有機系廃棄物は焼却処理よりもバイオガスプラントでの処理が GHG、費用ともに効率が良い。さらにバイオガスプラントの副産物である消化液については浄化放流や焼却するのではなく、本研究で扱ったような濃縮液肥のような機能性を持たせることで、バイオガスプラント全体の運営が効率化する可能性が高い。このような対応を全国の自治体で広く実施することで、日本全体の温暖化ガス排出量は減少すると期待できる。

(5) 本研究の新規性について

第 1 章の先行事例で示したように生ごみ、し尿、浄化槽汚泥といった高含水率有機系廃棄物の処理に関しては、これまでは主に工学的なモデル分析のアプローチにより研究がなされてきた。これは焼却炉やバイオガスプラントといったそれ単体の技術に関する分析や、その技術力を高めるためには工学的なアプローチが必要だからである。一方でその延長線上にあるバイオガスプラント消化液の積極的な利用といった視点はそれら工学系の研究には見られない。

本研究では農学的な視点で、バイオガスプラント普及のボトルネックになっている消化液利用の課題解決を目的とした。本研究の中で以下の事を明らかにした。

- ・生ごみ等の処理の GHG スコアについて
焼却炉>バイオガスプラント（第 3 章）
- ・負荷の大きなバイオマス資源変換の GHG スコア
高温好気性発酵>バイオガスプラント（第 4 章）
- ・濃縮液肥の技術を用いれば、これまで成功事例とされてきた特殊な自治体と同じ消化液利用の効果、すなわち循環型のまちづくりを、ごく普通の自治体でも苦労なく実現できる（第 5 章）

以上を総合すると本研究によって、日本での自治体における生ごみ等の処理に本格的にバイオガスプラントを導入することは可能であり、同時に築上町・濃縮液肥のようなより高度な消化液利用が GHG を増加させることなく実現可能であるということを示した。

6-2. 政策提言

濃縮液肥の製造では電力消費量が多いことが課題であった（表-16、No.1 より）。その解決のために以下を提言する。

【対応案】

余剰電力のないバイオガスプラント、例えば大木町では 68% の電力自給率であったが、そうした事業者においては先行研究で示した自治体のように、一般廃棄物以外の産業廃棄物（食品加工残渣や家畜排せつ物等）の受け入れを行うことで、濃縮液肥の製造に必要な電力を賄うことが可能と思われる。

【具体策】

具体策としては以下の試算により濃縮液肥の製造に必要な電力を賄うことが可能と思われる。

- ・大木町の消化液 5,200 m³ を濃縮液肥製造施設で処理するために必要な電力量：18.4 万 kWh。
- ・これを賄うために必要なバイオガス量：約 10 万 m³。
- ・そのバイオガスを発生させるために必要な食品残渣量：800t（2.2t/日）と試算。

しかしながら、現状で大木町は 3.3t/日の生ごみを投入しているので、その 1.7 倍の量の食品残渣を受け入れることは難しい。よって、施設導入時点での濃縮液肥製造計画が必要であり、本研究で得られた成果を廃棄物政策へ反映することが必要である。そうすることにより、バイオガスプラント普及のボトルネックが解消され、社会全体にバイオガスプラント処理が普及することで GHG が減少することが期待できる。

【補足】

- ・効率化の最善モデルは、バイオガスプラント施設全体（濃縮液肥製造施設含む）の電力自家消費分 100% を賄うために、生ごみ、し尿等の一般廃棄物に投入加え、周辺の民間の高含水率有機系廃棄物を投入することが必要である。その上で、発生した消化液を濃縮液肥製造施設にて「濃縮液肥」に変換させ、施設

園芸栽培、植物工場などに販売することである。このモデルの利点は全国に多数の自治体バイオガスプラントが建設された場合においても、FITの空き容量問題に左右されずに消化液から収入を得られることにある。また国内の肥料自給率も向上する。

- ・効率化の次善モデルは工学系のモデルに多い消化液またはその固液分離後の固形分の焼却と考えられるが、バイオガスプラント+焼却炉のコンバインドシステムについては、また評価が出そろった状態ではなく、今後の事例研究や生ごみ分別機の精度向上が必要と考えられる。また財政的にも広く普及させるには大きな困難が伴うシステムと考えられる。
- ・最も効率の悪いモデルは直接埋め立てであり、これは焼却よりも大きな埋立容積を必要とするだけでなく、埋立後、長期間メタンガスを発生させる²²。

6-3. 今後の課題

(1) 自治体のバイオガスプラントの最適化に関する研究

前述したようなバイオガスプラントと濃縮施設がセットになったモデルで、かつ自家消費電力を全てバイオガス発電で賄う事例分析はまだ行っておらず、その数値は概算であり、今後より詳細な研究が必要である。濃縮液肥施設のような「消化液を商品化するための変換施設」で用いる電力を含めて、自家消費電力の100%をバイオガスで賄うためには一般廃棄物以外の投入が必要なことから、民間由来の家畜排せつ物や食品廃棄物の適切な受け入れ量、受け入れ金額についても試算する必要がある。

(2) バイオガスプラント+浄化放流のGHG

本研究ではバイオガスプラント消化液を浄化放流したケースのGHGを調査していないが、消化液の農業利用ケースとの比較を行う必要があると考える。先行研究では、消化液の浄化放流に関するGHG算出に関して適切なものがなかったため、し尿浄化放流のGHGデータを用いた場合を以下に示す。

【消化液農業利用ケース】

大木町・消化液 5,200 m³/年・農業利用で排出されるGHG：124,800kg-CO₂²³

【消化液浄化放流ケース】

GHG 原単位（し尿の浄化放流）：0.047kg-CO₂/し尿 L²⁴

²² 環境省資料によると直接埋立は1996年度で一般廃棄物総排出量に占める割合で約10%、2022年度では0.9%まで減少。

²³ 表-3、表-6をもとに計算

²⁴ IDEA Ver3.3より

浄化放流によって排出される GHG : 244,400kg-CO₂

上記より、消化液を浄化放流処理するよりも農業利用した方が約 1/2 の GHG で済むことが示唆された。生ごみが原料の一部として投入されている大木町の消化液はし尿よりも BOD（生物化学的酸素要求量）が高いことが想定され、実際には上記の試算以上に浄化放流の GHG は大きくなることが予想される。今後の研究にて、消化液の農業利用との対比として適切な事例を取り上げ比較研究を行う必要がある。

参考文献

- European Parliament and of the Council 2018 On the Promotion of the Use Of Energy From Renewable Sources (Recast). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018L2001-20181221> (Retrieved February 10, 2025)
- Myung Gyu Lee (2013) “Research and development in composting and animal waste management including wastewater treatment, renewable energy and so on in Korea, ” 有機性資源活用・環境保全国際シンポジウム発表資料, pp.3.
- 浅井 真康 (2020) 「家畜排せつ物のメタン発酵によるバイオガスエネルギー利用」令和 2 年度畜産環境シンポジウム, pp.8-35
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/2020_sympo_asai.pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 石田哲也・岡本隆・石渡輝夫・松田従三・福尾克也 (2001) 「個別型バイオガスプラントの本土環境とエネルギー収支」北海道開発土木研究所月報,584:25-30
- 一般社団法人日本有機資源協会・一般社団法人木質バイオマスエネルギー協会 (2023) 「国産バイオマス発電の導入見通し」
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/030_03_00.pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 大阪市 (2020) 「大阪市一般廃棄物処理基本計画（令和 2 年 3 月）」 pp.12
<https://www.city.osaka.lg.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000007/7513/R2kihonn3-15.pdf> (2025 年 2 月 10 日参照)
- 株式会社エックス都市研究所 (2023) 「食品ロス都内発生量（令和 3 年度分）調査委託報告書」 pp.7,https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/documents/d/kankyo/food-loss-tokyo-r3_pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 環境省 (2012) 「バイオガス関連事業の LCA に関する補足ガイドライン Ver.1.0」 pp.1-9 <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/lcaguideline/guideline02.pdf> (アクセス 2025 年 2 月 10 日)
- 環境省 (2023A) 「食品廃棄物等の利用状況等（令和 2 年度推計）」
<https://www.env.go.jp/content/000140159.pdf> (2025 年 2 月 10 日参照)
- 環境省 (2023B) 「全国のメタンガス化施設リスト」
<https://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/data/facilitylist.pdf> (2025 年 2 月 10 日参照)
- 環境省 (2023C) 一般廃棄物の排出及び処理状況等（令和 3 年度）について。
https://www.env.go.jp/press/press_01383.html (2025 年 2 月 10 日参照)

- 環境省 (2024A) 「一般廃棄物の排出及び処理状況等 (令和 4 年度) について」 報道発表資料, 2024 年 03 月 28 日 https://www.env.go.jp/press/press_02960.html (2025 年 2 月 10 日参照)
- 環境省 (2024B) 「世帯当たり年間エネルギー種別消費量 (固有単位) および支払金額 (令和 6 年度)」
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/kateico2tokei/energy/detail/01/>
- 気象庁 (2023) 「気候変動監視レポート 2022 世界と日本の気候変動および温室効果ガス等の状況」
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/2022/pdf/ccmr2022_all.pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 京都市 (2015) 「新・京都市ごみ半減プランー京都市循環型社会推進基本計画 (2015-2020) ～ 資源の更なる有効利用と環境負荷の低減を目指して ～」 pp.8
https://www.city.kyoto.lg.jp/templates/shingikai_kekka/cmsfiles/contents/0000260/260608/10_05_sankoshiryo1.pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 金融庁 (2023) 「金融商品取引法、第二百八条の十二の 2、改正後、改正前」
<https://www.fsa.go.jp/news/r5/shouken/20231128/01.pdf> (2025 年 2 月 10 日参照)
- 経済産業省 (2023) 「FIT/FIP 制度におけるバイオマス燃料 (新規燃料) のライフサイクル GHG 排出量の既定値について (案)」
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/shin_energy/biomass_sus_wg/pdf/024_s01_00.pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 札幌市 (2024) 家庭ごみ組成調査
https://www.city.sapporo.jp/seiso/houkoku/sosei/sosei_chousa.html (2025 年 2 月 10 日参照)
- 総務省(2024) 「【総計】 令和 6 年住民基本台帳人口・世帯数、令和 5 年人口動態 (都道府県別)」
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_gyousei/daityo/jinkou_jinkoudoutai-setaisuu.html
- 辻林英高・矢部光保 (2019) 「液肥利用を含むバイオガスプラントと液状コンポストプラントの効率性比較 -LCA を用いた温室効果ガス排出及び処理費用の推計-」 地域学研究,49(2): pp.171-184
- 辻林英高・矢部光保・高橋義文 (2024) 「有機系廃棄物処理におけるバイオガスプラント導入の GHG 削減効果 : LCA を用いたバイオガスプラント処理と焼却処理の比較」 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌, 79 巻 1 号 pp.1-8,
- トヨタ (2023) 「バッテリーの原料となるリチウム等の不足が発生する。「完璧は善の敵」 トヨタチーフ・サイエンティストに聞く脱炭素」, トヨタタイムズニュース, 2023.03.06, <https://toyotatimes.jp/newscast/009.html> (2025 年 2 月 10 日参照)

- 内閣府・総務省・文部科学省・農林水産省・経済産業省・国土交通省・環境省
(2010) 「バイオマス活用推進基本計画」
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-7.pdf> (2025 年 2 月 10 日参照)
- 内閣府・総務省・文部科学省・農林水産省・経済産業省・国土交通省・環境省
(2016) 「バイオマス活用推進基本計画」
<https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/attach/pdf/index-4.pdf> (2025 年 2 月 10 日参照)
- 内閣府・総務省・文部科学省・農林水産省・経済産業省・国土交通省・環境省
(2022) 「バイオマス活用推進基本計画 (第 3 次)」
https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio_g/attach/pdf/220906-2.pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 中村真人 (2011) 「メタン発酵消化液の液肥利用とその環境影響に関する研究」, 農村工学研究報告, 第 50 号, pp.35-39
- 農林水産省 (2010) 「バイオマス活用推進基本計画」 pp.10-12.
http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/pdf/keikaku.pdf (アクセス 2025 年 2 月 10 日)
- バイオマス活用推進会議 (2012) 「バイオマス事業化戦略～技術とバイオマスの選択と集中による事業化の推進～」 pp.7-8.
<http://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/bioi/pdf/130322-04.pdf> (アクセス 2025 年 2 月 10 日)
- 浜坂岳暢 (2013) 「日田市バイオマス資源化事業における温室効果ガス排出量と経済性に関する評価分析」 農村計画学会誌, 32(Special Issue), pp.179-184
- 東彼杵町 (2014) 「東彼杵町バイオマス活用促進ならびに調査業務報告書」 pp.12-20
- 福岡市 (2021) 「循環のまち・ふくおか推進プランー第 5 次福岡市一般廃棄物処理基本計画ー」 pp.9,
<https://www.city.fukuoka.lg.jp/kankyo/keikaku/hp/documents/jyunkannomachifukuokasuisinplan.pdf> (2025 年 2 月 10 日参照) 本藤祐樹 (2008) 「LCA における産業連関表の応用(特集 環境と産業連関分析)」 産業連関 = Business journal of PAPAIOs: イノベーション&I-O テクニーク 16(2) 2008.6, pp.5-15,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/papaio/16/2/16_5/_pdf (2025 年 2 月 10 日参照)
- 森川則三 (2010) 「し尿処理施設の改善・改良整備についてーCO2 排出量削減を中心としてー」, JEFMA, 第 58 号(3), pp.27-28
- 横須賀市, 2010 年度「全量焼却と焼却＋バイオガス化の比較」 第 7 回検討委員会, 資料 6-2, <http://www.inkan-jk.or.jp/green/img/shiryoku2207062.pdf>

渡辺ほか（2003）「生ごみと下水汚泥の同時嫌気性消化システムの LCA による評価」環境工学研究論文集 40 巻,pp.311-319
https://www.jstage.jst.go.jp/article/proes1992/40/0/40_0_311/_pdf/-char/ja（2025 年 2 月 10 日参照）

謝 辞

この博士論文を完成させるにあたり、多くの方々のご支援とご協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

まず初めに、指導教員である矢部光保教授、高橋義文准教授、野村久子准教授には、研究の指導と多大なるご助言を賜りましたことに心より感謝申し上げます。お三方のご指導がなければ、本研究を成し遂げることはできませんでした。とりわけ矢部教授からは研究全般に関して多くのことを学ばせて頂きました。当方が査読への対応で苦心している時に頂いた「私も毎回苦心している」という言葉は大きな励みになりました。

さらに、本研究の実施にあたり、データ収集にご協力いただいた自治体の皆様に感謝申し上げます。特に築上町産業課の皆様と三菱ケミカルアクア・ソリューションズ株式会社には手厚いご支援を頂きました。その他、ご協力いただいた全ての方々に深く感謝申し上げます。

また廃棄物処理業務に携わる全ての方達の努力が正しく評価され、かつ、その活動結果が地球環境および人々の生活にとって最善のものとなるようにするために、今後とも農学、工学、情報工学、経済学など様々な分野の研究者や専門家、そして現場の人々が手を携えて我が国の循環型社会がより高いレベルで実現されることを祈願しております。

2025 年 3 月

辻林 英高