

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第4356号

土木研究所資料

刈草の有効利用方法検討のための
温室効果ガス排出量の算定に関する研究

平成29年3月

国立研究開発法人 土木研究所
先端材料資源研究センター

Copyright © (2017) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

刈草の有効利用方法検討のための 温室効果ガス排出量の算定に関する研究

先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ

研究員 桜井 健介

上席研究員 植松 龍二(2016.4-)

上席研究員 南山 瑞彦(2015.4-2016.3)

上席研究員 津森ジュン(2013.5-2015.3)

要旨

河川管理等の公共緑地で発生する刈草は、毎年、一定量が発生し、管理システムが確立しており、比較的に利用しやすいため、有効利用が期待される。しかし、現状では、河川堤防の管理者等が、地球温暖化対策としての効果の大きさを考慮に加えて、処理方法を選択しようとしても、比較のための情報は十分に整備されていない。このため、刈草の処理方法毎にシナリオを設定し、刈草の性状や発生重量、刈草の処理プロセスにおいて消費される化石燃料、電力、薬品量等の情報を収集・整理し、刈草の有効利用に伴う温室効果ガス排出原単位を算定した。

キーワード：刈草、温室効果ガス、バイオガス化、飼料化、堆肥化

目次

第1章	はじめに	1
第2章	総論	2
	第1節 刈草の有効利用の技術と概要	2
	第2節 刈草の有効利用検討事例	3
	第1項 バイオガス化	3
	第2項 飼料化	3
	第3項 堆肥化	4
第3章	刈草の有効利用時の温室効果ガス排出原単位の算定	5
	第1節 算定方法と算定範囲	5
	第2節 刈草の性状	6
	第3節 評価シナリオ	7
	第4節 シナリオ別の温室効果ガス排出原単位	14
	第5節 まとめ	14
参考資料1	刈草の処理シナリオ別の各プロセスの温室効果ガス排出および排出削減原単位の計算過程	21
参考資料2	刈草の有効利用事例および検討事例集	27
	(ア) バイオガス化	30
	(イ) 飼料化	42
	(ウ) 堆肥化	53

第1章 はじめに

河川管理において重要な堤防法面の点検と堤体保全のため、堤防除草が定期的に行われている。除草後の刈草は、河川管理上あるいは廃棄物処理上支障がなく刈草を存置できる場合を除いて、ごみ処理施設における焼却などにより処理されてきた。平成23年5月に策定された「河川砂防技術基準 維持管理編(河川編)」(国土交通省)では、これまでの方法に加え、新たに刈草の飼料等への有効利用や野焼きによる処分等の取り組みに努めることとされた¹⁾。

一般に、刈草を含むバイオマスは広く、薄く存在している上、水分含有量が多い、かさばる等の扱いづらいという特性のために収集が困難であることが、十分に活用されていない原因の一つである²⁾。しかし、河川管理で発生する刈草は、毎年、一定量が発生し、管理システムが確立しており、比較的利用しやすいため、有効利用が期待される。

刈草の特徴は木材に比べリグニンの含有量が少なく柔らかい点であり³⁾、生物による分解が比較的早い。この特徴を活かし、飼料化^{4),5)}だけでなく、堆肥化^{6),7)}や嫌気性消化^{8),9)}なども有望な有効利用方法と思われる。

刈草をエネルギーや堆肥など有機資材として有効利用し、化石資源由来のエネルギーやそのエネルギーの消費により製造される製品を代替することは、温室効果ガス(Greenhouse gas、GHG)の排出を削減できることから、地球温暖化問題への対策として期待される。これは、植物が成長過程で光合成により二酸化炭素(CO₂)を吸収することから、大気中のCO₂を増加させない「カーボンニュートラル」と呼ばれる特性¹⁰⁾を有しているためである。

現状では、河川堤防の管理者等が、地球温暖化対策としての効果の大きさを考慮に加えて、処理方法を選択しようとしても、比較のための情報は十分に整備されていない。このため、土木研究所重点プロジェクト研究「地域バイオマスの資源管理と地域モデル構築に関する研究(平成23年度～27年度)」において、河川管理者等によるGHG排出量の算定を容易にするため、刈草の処理方法毎にシナリオを設定し、刈草の性状(元素組成、含水率、熱量、灰分)や発生重量、刈草の処理プロセスにおいて消費される化石燃料、電力、薬品量等の情報を収集・整理し、刈草の有効利用に伴うGHG排出原単位を算定した。

第2章 総論

第1節 刈草の有効利用の技術と概要

刈草の特徴は木材に比べリグニンの含有量が少なく柔らかい点であり³⁾、生物による分解が比較的早い。この特徴を活かし、バイオガス化、飼料化、堆肥化などが有望な有効利用方法と思われる。

バイオガス化は、刈草を破砕機等で破砕した後に、嫌気性消化させ、メタンを含むバイオガスを発生させ有効利用する方法である。一般的に、発電等に用いられる。特に、国内に200か所程度存在する嫌気性消化槽を有する下水処理場で刈草を受け入れ、下水汚泥と混ぜて嫌気性消化させる方法は、既存施設を活用でき、有望と考えられる。

飼料化は、刈草をラップサイレージ化し、乳牛等に飼料として利用する方法である。国内で使用される粗飼料の一部は、オーストラリア等から輸入されているが、それらを代替できれば、輸送等で消費されていた石油燃料等の消費を削減することができる。

堆肥化は、植物廃材を腐熟させ、微生物の作用により各種含有物を分解安定化することによって、植物生育に有用な物質に変化させ¹¹⁾、堆肥として利用する方法である。それらが従来使用されていた化学肥料を代替できる場合、化学肥料の製造等に伴って消費されていた石油燃料等の消費を削減することができる。

第2節 刈草の有効利用検討事例

第1項 バイオガス化

新潟市の中部下水処理場において、刈草を受け入れて、下水汚泥と刈草等の混合嫌気性消化を行い、発生したメタンガスを用いて発電が行われている^{12), 13)}。北陸地方整備局において、信濃川下流河川事務所管内で発生する刈草のうち、従来、焼却場で処理していた刈草を新潟市中部下水処理場で受け入れた場合についてケーススタディを実施し、両者ともにコスト削減効果が見込まれ、温室効果ガス排出量も削減効果が見込まれている¹⁴⁾。

海外において、刈草をメタン発酵して発電する事業についての文献は見当たらないが、畜産廃棄物と刈草の混合嫌気性消化や、刈草を主体とする嫌気性消化の採算性を検討されている^{15), 16), 17)}。刈草を主体とする嫌気性消化¹⁷⁾においては、発電規模 500kW 以上において、採算性が確保できるとされている。

第2項 飼料化

国内では、千葉県、島根県等で飼料化が行われている。

千葉県では、河川堤防刈草を活用した乳牛用発酵 TMR (total mixed rations: 混合飼料) 飼料化実証事業^{18), 19)}が行われており、ロールペーラで回収した堤防除草刈草をラップサイレージ化し、乳牛用発酵 TMR 飼料加工して近傍の畜産農家へ提供された。生産コスト約 25 円/kg であり、畜産農家の購入希望価格とほぼ同等と報告されている。

島根県では、道路で除草された刈草を集積場に運搬集積し、異物除去後、梱包ラッピング、その場で保管し、引き渡し日を決めて畜産農家が持ち帰り、牛の飼料として有効利用した^{20), 21)}。これまでの処分場での処理経費に比べ、梱包ラッピングに掛かる経費は安価で、経費削減が達成された。

第3項 堆肥化

国内では、東京都・埼玉県、三重県等で堆肥化が行われている。

東京都・埼玉県に所在する荒川上流河川事務所では、河川堤防等で発生した刈草を破碎し、4か月間発酵させて、堆肥化している。「荒川緑肥（肥料登録）」と命名し、近隣の農家や園芸愛好家に提供したり、市・学校での利用やイベント会場で配布したりしている²²⁾。

三重県亀山市では、刈り草コンポスト化センターにおいて、道路、河川敷、家庭等から出る刈り草を堆肥化し、市民へ配布したり、公共施設及び関係機関等で活用したりしている^{23), 24)}。

第3章 刈草の有効利用時の温室効果ガス排出原単位の算定方法

第1節 算定方法と算定範囲

GHG 排出量の評価にあたっては、原料の調達から製品の廃棄までの環境影響を評価する、ライフサイクルアセスメント²⁵⁾の考え方をを用いた。

GHG 排出量は、プロセス毎に活動に伴って消費される化石燃料、電力、薬品量に GHG 排出係数を乗じ算定し、それらを積み上げてシナリオ全体の GHG 排出量とした。GHG 削減量は、シナリオ内で生じる資源化物（焼却や嫌気性消化から発電した電力、飼料、堆肥）が同等の機能を提供するシステム（電力供給、飼料の供給、化学肥料の供給）を代替するとみなし、この代替システム分を算定した。GHG 排出量および排出削減量は、シナリオ中の運用に由来する GHG 排出および排出削減を対象とし、比較的小さいと思われる施設や設備の建設や廃棄は対象外とした。

算定対象とする GHG の種類は、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)とした。各シナリオの GHG 排出量と排出削減量を求める際には、各種の GHG 量に地球温暖化係数を乗じて二酸化炭素換算量とした上で、合算して求めた。地球温暖化係数は、IPCC 第四次報告書²⁶⁾における積分期間 100 年の係数とし、重量当たりの温室効果が CO₂ に対し、CH₄ は 25 倍、N₂O は 298 倍とした。刈草の焼却や分解に伴う CO₂ の排出は、草の成長時に吸収した CO₂ を還元する効果とみなせるので、IPCC ガイドライン²⁷⁾と同様に、温室効果は無いものとした。

算定範囲は、除草(面積 1,000m² を 1 回)から、焼却または加工後、最終的に灰の埋め立てや農地還元等を通して、安定した状態となるまでとした。

第2節 刈草の性状

刈草の元素組成、含水率、熱量、灰分は、土木研究所が、以前、実施した全国調査の測定データ集²⁸⁾を整理して、採用した。

刈草の元素の重量割合を表-1 に示した。一般にバイオマスは、主要構成成分がセルロースやリグニンであるため、炭素と水素は、それぞれ、45-50%、5-6%であることが知られており²⁹⁾、採取した刈草もそれらの範囲内であった。

刈草の高位発熱量は、 $18.5 \pm 1.3 \text{MJ/kg-dry}$ (平均±標準偏差)であった。また、刈草は2、3日存置し、乾燥されて回収されることが多く、2、3日存置し乾燥を行った刈草の含水率は $0.180 \pm 0.088 \text{kg/kg-wet}$ であった。灰分は $0.112 \pm 0.044 \text{kg/kg-dry}$ であった。刈草の低位発熱量は、 13.8MJ/kg-wet であり、ごみの低位発熱量の全国平均値である約 9.0MJ/kg-wet ³⁰⁾より高かった。

表-1 河川の維持工事で発生した刈草 86 検体の元素の平均重量割合(単位：%)

	炭素	水素	窒素	硫黄	酸素
平均	46.3	5.42	1.34	0.01	40.5
標準偏差	2.7	0.35	0.41	0.03	2.3

刈草の年間発生重量は、以前、土木研究所が国土交通省総合政策局事業総括調整官室（当時）と共同で実施した全国調査での測定結果³¹⁾に基づき、相加平均値の 667g-wet/m^2 とした。GHG 排出量の試算にあたっては、除草は年2回が基本¹⁾であることから、1回あたり 334g-wet/m^2 として計算することとした。

第3節 評価シナリオ

評価シナリオは、図-1 に示すとおり、実例のある、または、実用段階にある (A) 存置、(B) 野焼き、(C) 焼却(発電無し)、(C') 焼却(発電有り)、(D) 飼料化、(E) 堆肥化、(F) バイオガス化とした。

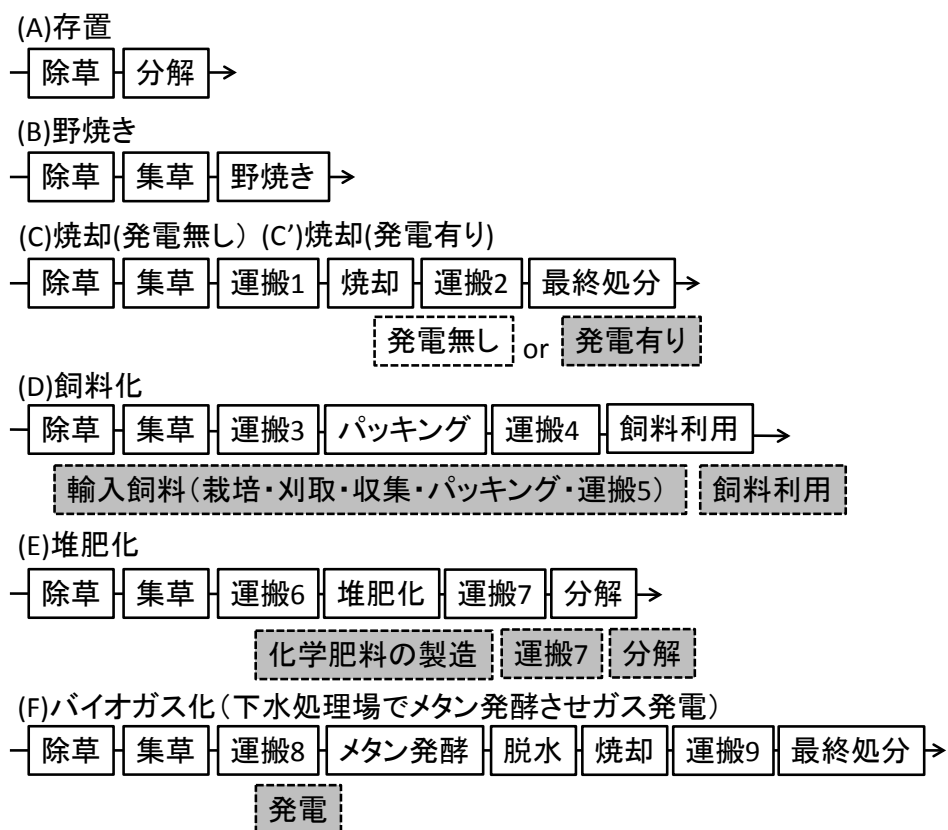


図-1 温室効果ガス排出量の評価対象とするシナリオと構成プロセス(灰色に着色された部分は、代替されるプロセスを示す)

各シナリオに共通の除草プロセスおよび集草プロセスでは、一般的な刈幅150cm、ガソリン燃費 9.2L/h³²⁾のハンドガイド式草刈機を用いることとした。除草と集草の作業時間は、積算基準³³⁾から、それぞれ、1.28h/1000m²、1.04h/1000m²とした。トラックへの積み込みや積み下ろしは人力とした。人力による作業は、GHG 排出が無いものとした。

a) 存置シナリオ

存置シナリオは、除草と分解プロセスより構成されるものとした。分解プロセスにおける炭素と窒素の CH₄ や N₂O への転換率は、有機肥料や化学肥料の畑地での施肥³⁴⁾と同値とした。

b) 野焼きシナリオ

野焼きシナリオは、除草および集草後、現地で焼却されるものとした。焼却時の CH₄、N₂O 転換率は、農業残渣の野焼き^{27), 34)}と同等とした。

c) 焼却シナリオ

焼却シナリオは、発生した刈草を既存のごみ焼却場で中間処理し、灰を最終処分することを想定した。焼却の GHG 排出量は、文献³⁵⁻³⁷⁾によると、炉の形式、炉の大きさ、発電効率、熔融の有無などにより異なる。本報告において焼却施設の処理方式は、全国で最多(1221 施設中 463 施設³⁸⁾)の全連続運転のストーカー式施設とした。

実施において刈草のみの焼却に伴う電力、燃料、薬剤の使用量を把握するのは困難であるため、施設規模、焼却物量、焼却物組成に応じてこれらを推算可能な文献³⁵⁾の計算モデルを利用して算定した。

計算モデルでは、発電量は、ごみの量と低位発熱量に依存する発生蒸気量と主に施設規模に依存する場内蒸気使用量の差から使用可能蒸気量を求め、発電効率を用いて計算される。本シナリオでは、既存の焼却処理場に刈草が追加的に投入されることを想定し、場内蒸気使用量は変わらず、発生蒸気量が増加するものとして計算した。また、刈草を投入していない状態でも発生蒸気量は場内蒸気使用量を上回っており、かつ、補助燃料は利用していないものとした。なお、焼却施設の処理規模は、規模別施設数で最多帯³⁸⁾の 200t/d を仮定し、燃焼ガス冷却方式は、一般的なボイラ方式³⁰⁾とした。

集塵灰処理は、熔融固化または薬剤処理後セメント固化のパラメーターが設定されているが、熔融固化はほとんど事例が無い³⁹⁾ため、薬剤処理後セメント固化されるものとした。

全連続運転のストーカー式焼却炉の CH₄、N₂O 転換率は、一般廃棄物焼却炉の

CH₄とN₂O排出係数(廃棄物総量ベース)⁴⁰⁾および一般廃棄物の炭素と窒素の標準含有率³⁰⁾から計算して、設定した。

最終処分プロセスでは焼却灰のセメント固化物を対象とした。処分場の設計条件は計算モデル³⁵⁾中のデフォルト条件とした。

d) 飼料化シナリオ

飼料化シナリオは、ラップサイレージ化した刈草と乾草が同等の栄養価および嗜好性がある⁴¹⁾ので、刈草をラップサイレージ化して、乳牛等に飼料として利用することとし、同量のオーストラリア産輸入乾草と代替することとした。

パッキングプロセスは、梱包、密封、積込から構成され、それぞれの軽油消費量は、文献⁴²⁾の中小規模の乾草、サイレージ生産における燃料消費量から0.5L/1000m²、0.4L/1000m²、0.35L/1000m²とした。

代替するオーストラリア産輸入乾草の生産・輸送に伴うGHG排出量は、文献⁴³⁾のオーストラリアでの生産と日本各地までの輸送を対象として推計されたGHG排出量から全国平均値を計算して、258g-CO₂/kg-wetを用いた。なお、乾草の含水率は10%として計算した。

e) 堆肥化シナリオ

堆肥化シナリオについては、有機堆肥の製造および施用に伴うGHG排出量から、相応の化学肥料の製造および施用に伴うGHG排出削減量を差し引くことで全体のGHG排出量を計算した。

有機堆肥の製造は、バックホーにより電気式の破碎機に投入し、破碎後、ホイールローダーによる切り返しを行うものとした。バックホー軽油消費量、破碎機電力消費量、ホイールローダー軽油消費量は、文献⁴⁴⁾の測定値から、それぞれ、0.0157L/dry-kg、18.0Wh/dry-kg、0.00798L/dry-kgとした。相応の化学肥料の製造とは、有機肥料中の窒素とリン酸の量と等しい窒素とリン酸を含む化学肥料の製造とし、その製造に伴うGHGは文献⁴⁵⁾の日本国内の排出係数から、1.64kg-CO₂eq./kg-Nと1.44kgCO₂eq./kg-P₂O₅を用いた。刈草の堆肥化の過程では、窒素量に変化が無いものと仮定し計算した。一般に、国内の河川堤防等で見られる草本のリン含有率は、0.1-0.4%程度⁴⁶⁾であり、堆肥のリン酸含有率は、堆肥化事例⁴⁷⁾を元に0.4%とした。化学肥料および有機堆肥の施肥に伴う炭素と窒素のCH₄やN₂Oへの転換率は、IPCCガイドライン²⁷⁾と同様に区別がないものとし、存置シナリオと同値とした。

f) バイオガス化シナリオ

バイオガス化シナリオは、刈草を 2、3cm 程度に破砕後、嫌気性消化槽と発電機を有する既存の下水処理場にて下水汚泥と混合して嫌気性消化し、バイオガスを回収した後、機械脱水した後に焼却して、灰を埋め立てるものとした。

回収されたバイオガスは、精製して、ガスエンジンにて発電し、従来の電気と代替することとした。破砕に係る消費電力は、前節の堆肥化と同じとした。消化、脱水プロセスは、中温消化、遠心脱水によるものとし、消化、脱水による電力消費量は、処理体積に比例するものと仮定し、汚泥体積と電力消費量の実測値⁴⁸⁾から、それぞれ 7.2、7.6kWh/m³とした。刈草の比重は、文献⁴⁹⁾を参考に 220 kg/m³として計算した。脱水プロセスでは、刈草の含水率が下水汚泥と比べてかなり低いため、刈草が保持していた水分は、脱水後も変化しないことと仮定した。焼却プロセスは、主な形式である流動床式⁵⁰⁾とし、消費電力量は、ごみ焼却の計算モデル³⁵⁾を利用して設定した。施設規模は、規模別施設数で最多帯⁵⁰⁾の 100t/d とした。

メタンガスの発生条件については、破砕機で 2、3cm 程度に破砕された刈草を消化した実験結果⁹⁾より、消化ガス発生量 0.31NL/gVS、メタン濃度 64%、VS 分解率 23%とした。メタンガスの低位発熱量およびバイオガスの精製による消費電力量は、それぞれ、35.9MJ/Nm³、0.387Wh/NL-CH₄⁴⁷⁾と設定した。ガスエンジンの発電効率は、一般に 25-39%であり⁵¹⁾、33%として計算した。消化のための加温は、ガスエンジンの排熱利用から賄うものとし、化石燃料の利用は無いものとした。消化後の刈草の高位発熱量は、VS 分解率と同じく 23%が失われたものとして計算した。

1000m²・除草 1 回あたりの刈草の処理に関する各プロセスにおいて消費される化石燃料、電力、薬品量または GHG 排出量は、本節で示した各シナリオに基づき計算され、表-2 のとおりとなった。

バイオマスが焼却や生物反応によって分解される際には、CO₂以外に CH₄や N₂O が排出される。刈草が焼却や生物分解される際に、バイオマス中の炭素および窒素が表-3 の転換率に従い、CH₄や N₂O によって転換されるものとした。また、化石燃料と電力の使用による GHG 排出係数は文献⁵²⁾に基づき、化学薬品の GHG 排出係数は、LCI データベース IDEA ver.1.1⁵³⁾を参照した。化石燃料、電力、化学薬品の GHG 排出係数は、表-4 に示した。

表-2 刈草の処理に関する各プロセスにおいて消費される化石燃料、電力、薬品
量または GHG 排出量(1000m²・除草 1 回あたり)

プロセス、消費物	原単位	参照 文献
除草プロセス（全シナリオ）		
草刈機ガソリン消費量(L)	11.8	32),33)
集草プロセス（存置を除く全シナリオ）		
集草機ガソリン消費量(L)	9.57	32),33)
焼却（発電無し）プロセス（焼却シナリオ）		
ごみ焼却場内消費電力 (kWh)	36.8	35)
消石灰使用量(kg)	1.8	35)
セメント使用量(kg)	1.3	35)
キレート剤使用量(kg)	0.16	35)
焼却（発電有り）プロセス（焼却シナリオ）		
ごみ焼却場内消費電力(kWh)	36.1	35)
効率 10%時発電量(kWh)	-88.3	35)
効率 20%時発電量(kWh)	-177	35)
消石灰, セメント, キレート剤使用量は焼却(発電無し) と同じ		
最終処分プロセス（焼却シナリオ）		
浸出水処理の消費電力(kWh)	0.042	35)
浸出水処理の消費重油(L)	0.0036	35)
埋立用重機の消費軽油(L)	0.0080	35)
パッキングプロセス（飼料化シナリオ）		
密封関連機械消費軽油(L)	1.4	42)
輸入飼料プロセス（飼料化シナリオ）		
輸入飼料の生産運搬に係る GHG(kg-CO ₂ eq.)	-81.4	43)
堆肥化プロセス（堆肥化シナリオ）		
バックホー軽油使用量(L)	4.3	44)
破砕機等消費電力(kWh)	4.9	44)
ホイールローダー軽油使用量(L)	2.2	44)
化学肥料の製造プロセス（堆肥化シナリオ）		
化学肥料製造（窒素）に係る GHG(kg-CO ₂ eq.)	-6.5	45)
化学肥料製造（リン）に係る GHG(kg-CO ₂ eq.)	-0.74	45)
メタン発酵プロセス（バイオガス化シナリオ）		
バックホー軽油使用量(L)	4.3	44)
破砕機等消費電力(kWh)	4.9	44)

消化の消費電力(kWh)	7.5	48)
脱水プロセス (バイオガス化シナリオ)		
脱水の消費電力(kWh)	7.9	48)
焼却プロセス (バイオガス化シナリオ)		
流動床式焼却の消費電力(kWh)	27.8	35)
消石灰使用量(kg)	1.1	35)
セメント使用量(kg)	3.8	35)
キレート剤使用量(kg)	0.46	35)
発電プロセス (バイオガス化シナリオ)		
ガスエンジン発電量(kWh)	-148	51)
最終処分プロセス (バイオガス化シナリオ)		
浸出水処理の消費電力(kWh)	0.065	35)
浸出水処理の消費重油(L)	0.0055	35)
埋立用重機の消費軽油(L)	0.0158	35)

注意)刈草の有効利用による排出削減量は、マイナスで表記した。

表-3 各シナリオで採用された CH₄、N₂O 転換率

シナリオ	CH ₄ 転換率 (g-CH ₄ -C/kg-C)	N ₂ O 転換率 (g-N ₂ O-N/kg-N)	参照文献
(A)存置	-	6.2	34)
(B)野焼き	5.0	7.0	27), 34)
(C), (C')焼却	0.046	0.35	30), 40)
(D)飼料化	-	6.2	34)
(E)堆肥化	-	6.2	27), 34)
(G)バイオガス化	0.046	0.35	30), 40)

表-4 化石燃料、電力、薬品の使用による GHG 排出係数

対象	CO ₂ (kg)	CH ₄ (g)	N ₂ O(g)	参照 文献
ガソリン (L)	2.32	1.87*	0.0215*	52)
軽油(L)	2.58	-	0.0641	52)
重油(L)	2.71	-	0.0665	52)
電力(kWh)	0.550	-	-	52)
消石灰(/kg)	1.05	-	-	53)
セメント(/kg)	0.86	-	-	53)
キレート剤(/kg)	1.37	-	-	53)

*自動車の場合は含まれない

第4節 シナリオ別の温室効果ガス排出原単位

前節で設定した条件から計算された、公共緑地 1,000m²・除草 1 回あたりに発生する刈草の処理シナリオ別の各プロセスの GHG 排出と GHG 排出削減の原単位を表 5 に示した。(参考に、計算過程は、参考資料 1 に記載した。) これらの合計が、正味の GHG 排出量として評価される。その結果、焼却(発電有り)、飼料化、バイオガス化は、正味の GHG 排出量が特に少なかった。

焼却(発電有り)は、発電効率が 10%の場合を例示した。20%以上の発電効率を持つごみ焼却施設もわずか(全 1,189 施設中 15 施設)に有り⁵⁴⁾、その場合には、GHG 排出削減量がさらに大きくなる。

なお、除草場所から焼却や加工施設や利用先への運搬に伴う GHG 排出量は、地域により大きく異なるため含まれていない。除草面積 1,000m²・除草 1 回から発生した刈草を 2 トントラックで運搬すると、GHG 排出量が 1km あたり 0.38kg-CO₂ 増加することを考慮する必要がある。

炭素や窒素の CH₄ や N₂O への転換による GHG 排出は、現在、世界的に知見が増えつつあるため、必要があれば転換率を見直して計算する必要がある。

河川管理者等が、刈草の有効利用方法検討等のために GHG 排出量を算定する場合、処理シナリオが同様であれば、除草面積に本原単位を乗じることで、大まかな GHG 排出量を算定できる。

第5節 まとめ

刈草の処理方法毎にシナリオを設定し、刈草の性状や発生重量、刈草の処理プロセスにおいて消費される化石燃料、電力、薬品量等の情報を収集・整理し、GHG 排出量原単位を算定することができた。その結果、焼却(発電有り)、飼料化、バイオガス化は、正味の GHG 排出量が特に少なかった。

河川管理者等が、刈草の有効利用方法検討等のために GHG 排出量を算定する場合、処理シナリオが同様であれば、除草面積に本原単位を乗じることで、大まかな GHG 排出量を算定できると考えられる。なお、除草、集草、運搬プロセス等の個別に化石燃料消費量を測定可能なプロセスについては、本原単位を用いずとも、化石燃料消費量を実測すれば、より正確な GHG 排出量を個別に推定することが可能である。

表-5 公共緑地 1,000m²・除草 1 回あたりに発生する刈草の処理シナリオ別の各プロセスの温室効果ガス排出および排出削減原単位(単位：kg-CO₂eq.)

	(A)存置	(B)野焼き	(C)焼却 (発電無し)	(C')焼却 (発電有り)	(D)飼料化	(E)堆肥化	(F)バイオ ガス化
除草	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0
集草		22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
焼却			23.5	23.1			20.3
発電				-48.6			-81.4
最終処分			0.05	0.05			0.09
飼料化					3.5		
飼料代替					-84.1		
堆肥化						19.6	
化学肥料代替						-7.2	
バイオガス化							22.5
CH ₄ 、N ₂ O への転換	22.8	48.4	1.5	1.5	22.8	22.8	1.5
CH ₄ 、N ₂ O への転換 (代替物由来)					-22.8	-22.8	
合計	50.8	99.1	75.8	26.8	-29.9	63.1	13.7

注意) マイナスは温室効果ガス排出削減を示す。

参考文献

- 1) 国土交通省：河川砂防技術基準維持管理編（河川編）
(http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/ijikanri/kasen/pdf/gijutsukijun.pdf), 2015.
- 2) バイオマス・ニッポン総合戦略, 平成 18 年 3 月 31 日閣議決定.
- 3) 公益社団法人化学工学会, 一般社団法人日本エネルギー学会編：バイオマスプロセスハンドブック, 株式会社オーム社, 2012.
- 4) 愛知県畜産総合センター：河川敷刈草飼料利用促進の取り組み
(<http://www.pref.aichi.jp/0000022559.html>), 2009.
- 5) 国土交通省関東地方整備局河川部河川管理課：堤防の刈草無償提供
(http://www.ktr.mlit.go.jp/river/shihon/river_shihon00000127.html).
- 6) 道路緑化保全協会：植物発生材堆肥化の手引き—緑のリサイクルの実現を目指して, 1998.
- 7) 環境省九州地方環境事務所：野草堆肥利用マニュアル, 平成 18 年 3 月, 2006.
- 8) 独立行政法人土木研究所：下水道施設におけるバイオガスの完全利用に関する調査, 平成 21 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 4191 号, pp.1-16, 2010.
- 9) 独立行政法人土木研究所：下水処理場の再生可能エネルギー供給拠点化方策検討調査, 平成 22 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 4212 号, pp.1-39, 2011.
- 10) 閣議決定：バイオマス活用推進基本計画, 2010.
- 11) 社団法人道路緑化保全協会, 植物廃材堆肥化暫定指針(案), 平成 7 年 3 月.
- 12) 新潟市：中部下水処理場混合消化施設受入事務に係る要綱を制定しました, 新潟市ホームページ <https://www.city.niigata.lg.jp/kurashi/jyogesuido/gesui/work/konngoushouka.html>, 2016.
- 13) 山本 茂浩：バイオガス発電 刈草等と下水汚泥の混合消化と消化ガス発電について〈新潟市〉(特集 下水道の創エネルギー) 月刊下水道 38(3), 48-51, 2015.
- 14) 山崎憲人・杉浩行：河川堤防の刈草を活用した下水汚泥の混合消化ガス発電の経済性と環境負荷軽減の検討, 平成 26 年度・北陸地方整備局・事業研究発表会, pp.1-5, 2014.
- 15) BTS 社のバイオガス発電システム, バイオマス産業エネルギー研究所,
<http://www.zenkei.ne.jp/pdf/biomass.pdf>
- 16) Michael Köttner : How to build Grass based ecological Biogas Plants?、

International Biogas and Bioenergy Center of Competence, 2012.

- 17) Martin Elsässer, Jörg Messner, Ulrich Keymer, Reinhard Roßberg, Frank Setzer : Biogas from Grass、DLG Expert Knowledge Series 386, 2012.
- 18) 高梨勝 : 河川堤防刈草を有効利用した乳牛用発酵 TMR 飼料の利用技術, 畜産技術 701, pp.13-17, 2013.
- 19) 須藤吉康、江藤哲雄 : 河川堤防刈り草を有効活用した乳牛用発酵 TMR 飼料の開発による牛生産コスト削減効果の評価、河川堤防刈草の有効活用, 畜産技術協会, pp. 39-48, 2014.
- 20) 島根県土木部道路維持課 : 「神話の国しまね」新たな維持管理への挑戦, 道路行政セミナー(河川堤防の刈草を家畜の飼料に), 2009年7月号, pp.5-6, 2009.
- 21) 島根県畜産技術センター, 畜産技術普及グループ : 土木部との連携により、道路の刈草を家畜の飼料に!! , 畜産技術レポート, 第 68 号, 2010.
- 22) さいたま統計・情報センター : 堤防除草で発生する刈草を堆肥化, さいたま統計・情報センター情報収集資料 (公開資料).
- 23) 亀山市 : 亀山市一般廃棄物処理基本計画 (ごみ処理基本計画編) 平成 23 年 3 月.
- 24) 日本エヌ・ユー・エス株式会社 : ごみ減量化検討事前調査業務報告書 平成 24 年 3 月, 三重県.
- 25) 伊坪徳宏, 田原聖隆, 成田暢彦 : LCA 概論、社団法人産業環境管理協会発行, 2007.
- 26) IPCC Fourth Assessment Report: 2.10.2 Direct Global Warming Potentials, Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis.
- 27) IPCC: Reporting Instructions, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1996.
- 28) 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム : 公共緑地・樹木の管理に由来する草木系バイオマスデータ集、土木研究所資料 4145 号, 2009.
- 29) 日本エネルギー学会編 : バイオマスハンドブック, オーム社, 2002.
- 30) 社団法人全国都市清掃会議編 : ごみ処理施設整備の計画・設計要領 2006 改訂版, p.33, 2006.
- 31) 独立行政法人土木研究所 : 公共事業由来バイオマスの資源化・利用技術に関する研究、平成 20 年度下水道関係調査研究年次報告書集, 土木研究所資料 4157 号, pp.38-46, 2009.

- 32) 公園・緑地維持管理研究会編集：公園・緑地の維持管理と積算 改訂 4 版，財団法人経済調査会発行，2005.
- 33) 一般財団法人建設物価調査会発行：国土交通省土木工事標準積算基準書(河川・道路編)平成 25 年度(10 月改正)，2013.
- 34) 温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編，環境省地球環境局総務課低炭素社会推進室 監修：日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2013 年 4 月，2013.
- 35) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価 ーマテリアルフロー・LCA 評価プログラムー，技報堂出版株式会社，2005.
- 36) 田畑 智博，李 一石，菱沼 竜男，楊 翠芬：統計資料を用いた一般廃棄物焼却施設の LCI データ簡易算定法に関する検討，第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，2010.
- 37) 楊翠芬，田畑智博，菱沼竜男，玄地裕：廃棄物由来 CO₂ 排出量を考慮した焼却施設の LCA 手法の検討ー千葉県を事例に，都市清掃，61(283)，pp.235-241，2008.
- 38) 環境省：平成 24 年一般廃棄物処理実態調査結果 (http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h24/index.html)，2014.
- 39) 北海道大学大学院工学研究院 廃棄物処分工学研究室、財団法人 廃棄物研究財団：一般廃棄物処理事業実態調査データの詳細分析、平成 23 年 5 月 (<http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/waste/wp-content/uploads/2014/03/report2.pdf>)、2011.
- 40) 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会：温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 廃棄物分野における算定方法の改善について 平成 22 年 3 月 (<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h2203/7.pdf>)，2010.
- 41) 中井里香，朝倉康夫，松田浩典，倉田佳洋，西野 治，億 正樹：河川敷野草の飼料化への試み(第 1 報)，奈良県畜産技術センター研究報告第 39 号，pp.1-12，2015.
- 42) 農業機械学会：農業機械による環境保全機能向上のための調査研究，1992.
- 43) 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」：バイオマス利活用システムの設計と評価，資料 2 輸入飼料の地域別ライフサイクル・エネルギー消費量および GHG 排出量データベース，pp.253-261，2006.
- 44) 藤原宣夫：植栽樹木の二酸化炭素固定量からみた都市緑化施策の評価に関する研究，千葉大学学位申請論文，2005.
- 45) 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」：バイオマス利活用システムの設計と評価，第 IV 部バイオマス利活用システムの評価手法，

第2章 LCA（ライフサイクルアセスメント）による評価、pp.163-183, 2006.

- 46) 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム：草木系バイオマスの組成分析データ集，土木研究所資料 4095 号，2008.
- 47) 国土交通省荒川上流河川事務所，肥料取締法に基づく表示「荒川緑肥」（平成 26 年 1 月生産），埼玉県特肥 428 号，2014.
- 48) 惣田訓，池道彦：処理規模を考慮した様々な下水汚泥処理システムのエネルギー消費量の比較評価，再生と利用，34(129)，pp.6-15，2010.
- 49) Onoda, Y., Westoby, M., Adler, P. B., Choong, A. M., Clissold, F. J., Cornelissen, J. H., Diaz, S., Dominy, N. J., Elgart, A., Enrico, L., Fine, P. V., Howard, J. J., Jalili, A., Kitajima, K., Kurokawa, H., McArthur, C., Lucas, P. W., Markesteijn, L., Perez-Harguindeguy, N., Poorter, L., Richards, L., Santiago, L. S., Sosinski, E. E., Jr., Van Bael, S. A., Warton, D. I., Wright, I. J., Wright, S. J., Yamashita, N., Global patterns of leaf mechanical properties, *Ecology letters*, 14, 301-312, 2011.
- 50) 公益社団法人日本下水道協会発行：平成 23 年度版下水道統計，第 68 号，2013.
- 51) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン—改訂版— (<http://www.mlit.go.jp/common/001083170.pdf>), 2015.
- 52) 環境省，経済産業省：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver3.5)，2014.
- 53) 産業技術総合研究所，産業環境管理協会：LCI データベース IDEAVer.1.1，MiLCA ガイドブック，2012.
- 54) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：一般廃棄物の排出及び処理状況等(平成 24 年度)について，2014.3.

参考資料 1 刈草の処理シナリオ別の

各プロセスの温室効果ガス排出および排出削減原単位の計算過程

参考資料 1 刈草の処理シナリオ別の各プロセスの温室効果ガス排出および排出削減原単位の計算過程

公共緑地 1,000m²・除草 1 回あたりに刈草の処理シナリオ別の各プロセスの温室効果ガス排出および排出削減原単位(表-5)の計算過程を以下に示す。

(1) 共通

全シナリオにおける除草プロセス

$$\text{草刈機ガソリン消費量 } 11.8 \text{ L} \times (2.32 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.00187 \text{ kg-CH}_4/\text{L} \times 25 + 0.0000215 \text{ kg-N}_2\text{O}/\text{L} \times 298) = 28.0 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

存置を除く全シナリオにおける集草プロセス

$$\text{集草機ガソリン消費量 } 9.57 \text{ L} \times (2.32 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.00187 \text{ kg-CH}_4/\text{L} \times 25 + 0.0000215 \text{ kg-N}_2\text{O}/\text{L} \times 298) = 22.7 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

(2) 存置シナリオ

存置シナリオにおける N₂O への転換プロセス

$$\text{刈草発生量 } 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times 1.34\% \times 6.2 \text{ g-N}_2\text{O-N/kg-N} / 1000 \times 44/14 \times 298 = 22.8 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

(3) 野焼きシナリオ

野焼きシナリオにおける CH₄、N₂O への転換プロセス

$$\text{刈草発生量 } 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times (46.3\% \times 5.0 \text{ g-CH}_4\text{-C/kg-C} \times 16/12 \times 25 + 1.34\% \times 7.0 \text{ g-N}_2\text{O-N/kg-N} \times 44/14 \times 298) / 1000 = 48.4 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

(4) 焼却シナリオ

焼却シナリオにおける焼却(発電無し)プロセス

ごみ焼却場内消費電力 $36.8 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 20.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

消石灰使用量 $1.8 \text{ kg} \times 1.05 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 1.9 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

セメント使用量 $1.3 \text{ kg} \times 0.86 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 1.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

キレート剤使用量 $0.16 \text{ kg} \times 1.37 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 0.22 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

小計 $23.5 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

焼却シナリオにおける焼却(発電有り)プロセス

ごみ焼却場内消費電力 $36.1 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 19.9 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

消石灰使用量 $1.8 \text{ kg} \times 1.05 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 1.9 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

セメント使用量 $1.3 \text{ kg} \times 0.86 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 1.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

キレート剤使用量 $0.16 \text{ kg} \times 1.37 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 0.22 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

小計 $23.1 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

焼却シナリオにおける発電プロセス

効率 10%時発電量 $-88.3 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = -48.6 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

焼却シナリオにおける最終処分プロセス

浸出水処理の消費電力 $0.042 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 0.023 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

浸出水処理の消費重油 $0.0036 \text{ L} \times (2.71 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000665 \text{ kg-N}_2\text{O}/\text{L} \times 298) = 0.0098 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

埋立用重機の消費軽油 $0.0080 \text{ L} \times (2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000641 \text{ kg-N}_2\text{O}/\text{L} \times 298) = 0.021 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

小計 $0.054 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

焼却シナリオにおける CH_4 、 N_2O への転換プロセス

刈草発生量 $334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times (46.3 \% \times 0.046 \text{ g-CH}_4\text{-C}/\text{kg-C} \times 16/12 \times 25 + 1.34 \% \times 0.35 \text{ g-N}_2\text{O-N}/\text{kg-N} \times 44/14 \times 298) / 1000 = 1.50 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$

(5) 飼料化シナリオ

飼料化シナリオにおけるパッキングプロセス

$$\text{密封関連機械消費軽油 } 1.4 \text{ L} \times (2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000641 \text{ kg-N}_2\text{O/L} \times 298) \\ = 3.5 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

飼料化シナリオにおける飼料代替（輸入乾草の生産・輸送）プロセス

$$\text{刈草発生量 } 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) / (1 - 0.1) \times -258.1 \text{ g-CO}_2/\text{kg-wet} = - \\ 84.1 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

飼料化シナリオにおける飼料由来の N₂O への転換プロセス

$$\text{刈草発生量 } 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times 1.34 \% \times 6.2 \text{ g-N}_2\text{O-N/kg-N} / 1000 \times \\ 44/14 \times 298 = 22.8 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

飼料化シナリオにおける代替飼料由来の N₂O への転換プロセス

$$\text{刈草発生量} - 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times 1.34 \% \times 6.2 \text{ g-N}_2\text{O-N/kg-N} / 1000 \times \\ 44/14 \times 298 = -22.8 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

(6) 堆肥化シナリオ

堆肥化シナリオにおける堆肥化プロセス

$$\text{バックホー軽油使用量 } 4.29 \text{ L} \times (2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000641 \text{ kg-N}_2\text{O/L} \times 298) \\ = 11.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{破砕機等消費電力 } 4.92 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 2.7 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{ホイールローダー軽油使用量 } 2.18 \text{ L} \times (2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000641 \text{ kg-N}_2\text{O/L} \\ \times 298) = 5.7 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{小計 } 19.6 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

堆肥化シナリオにおける堆肥化代替プロセス

$$\text{刈草発生量 } 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times (1.34 \% \times -1.64 \text{ kg-CO}_2\text{eq./kg-N} + 0.4\% \\ \times -1.44 \text{ kg-CO}_2\text{eq.} \times 62/142) = -7.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

堆肥化シナリオにおける堆肥由来の N₂O への転換プロセス

$$\text{刈草発生量 } 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times 1.34 \% \times 6.2 \text{ g-N}_2\text{O-N/kg-N} / 1000 \times \\ 44/14 \times 298 = 22.8 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

堆肥化シナリオにおける代替堆肥由来の N₂O への転換プロセス

$$\text{刈草発生量} - 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times 1.34 \% \times 6.2 \text{ g-N}_2\text{O-N/kg-N} / 1000 \times 44/14 \times 298 = -22.8 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

(7) バイオガス化シナリオ

バイオガス化シナリオにおけるメタン発酵プロセス

$$\text{バックホー軽油使用量} 4.3 \text{ L} \times (2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000641 \text{ kg-N}_2\text{O/L} \times 298) = 11.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{破砕機等消費電力} 4.9 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 2.7 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{消化の消費電力} 7.5 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 4.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{脱水の消費電力} 7.9 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 4.4 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{小計} 22.5 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

バイオガス化シナリオにおける発電プロセス

$$\text{ガスエンジン発電量} -148 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = -81.4 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

バイオガス化シナリオにおける焼却プロセス

$$\text{ごみ焼却場内消費電力} 27.8 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 15.3 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{消石灰使用量} 1.1 \text{ kg} \times 1.05 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 1.2 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{セメント使用量} 3.8 \text{ kg} \times 0.86 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 3.3 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{キレート剤使用量} 0.46 \text{ kg} \times 1.37 \text{ kg-CO}_2/\text{kg} = 0.63 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{小計} 20.3 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

バイオガス化シナリオにおける最終処分プロセス

$$\text{浸出水処理の消費電力} 0.065 \text{ kWh} \times 0.550 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh} = 0.036 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{浸出水処理の消費重油} 0.0055 \text{ L} \times (2.71 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000665 \text{ kg-N}_2\text{O/L} \times 298) = 0.015 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{埋立用重機の消費軽油} 0.016 \text{ L} \times (2.58 \text{ kg-CO}_2/\text{L} + 0.0000641 \text{ kg-N}_2\text{O/L} \times 298) = 0.042 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

$$\text{小計} 0.093 \text{ kg-CO}_2\text{eq.}$$

バイオガス化シナリオにおける CH₄、N₂O への転換プロセス

$$\begin{aligned} \text{刈草発生量} & 334 \text{ kg-wet} \times (1 - 0.18) \times \{ (1 - 0.23) \times 46.3\% \times 0.046 \\ & \text{g-CH}_4\text{-C/kg-C} \times 16/12 \times 25 + 1.34\% \times 0.35 \text{ g-N}_2\text{O-N/kg-N} \times 44/14 \times 298 \} / 1000 \\ & = 1.45 \text{ kg-CO}_2\text{eq.} \end{aligned}$$

参考資料 2 刈草の有効利用事例および検討事例集

参考資料2 刈草の有効利用事例および検討事例集

刈草をバイオガス化、飼料化、堆肥化による有効利用について、文献調査等により、国内外の実施事例および検討（実用に至っていない）事例を収集した。それらの事例について、以下の項目で整理した。

整理項目

- ① 概要
 - ・加工と利用方法
 - ・設備
- ② 目的
- ③ スキーム
- ④ 採算性
- ⑤ 刈草の要求品質
- ⑥ 特徴
- ⑦ 備考

(ア) バイオガス化

刈草のバイオガス化（メタン発酵させてエネルギーを得る）について収集したものは以下の通りであった。

参表-1 “メタン発酵”に関する事例

所在地	内容	出典
国内	①河川堤防の刈草を活用した下水汚泥の混合消化ガス発電実証事業	山崎憲人・杉浩行：河川堤防の刈草を活用した下水汚泥の混合消化ガス発電の経済性と環境負荷軽減の検討、平成 26 年度・北陸地方整備局・事業研究発表会、pp.1-5、2014.
	②未利用植物系バイオマスのメタン発酵可能性調査	高島正信：未利用植物系バイオマスのメタン発酵、福井工業大学研究紀要、第 41 号、pp.387-392、2011.
	③膨張軟化処理による草木質系バイオマスのメタン発酵の検討	大月伸司、池本良子、高野典礼、中出貴大、中木原江利：膨張軟化処理による草木質系バイオマスのメタン発酵の促進、第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2011、pp.309-310、2011.
イ タ リ ア	④BTS 社のバイオガス発電事業化のシステム検討	著者不明：BTS 社のバイオガス発電システム、バイオマス産業エネルギー研究所、作成年不明、 http://www.zenkei.ne.jp/pdf/biomass.pdf
ド イ ツ	⑤乾式メタン発酵による刈草を含めたバイオガス発電事業化検討	Michael Köttner : How to build Grass based ecological Biogas Plants? International Biogas and Bioenergy Center of Competence、(ワークショップ・パワーポイント資料)、(08.02.2012)
	⑥刈草主体のバイオガス発電事業採算性検証	Martin Elsäßer, Jörg Messner, Ulrich Keymer, Reinhard Roßberg, Frank Setzer : Biogas from Grass, DLG Expert Knowledge Series 386、2012.

メタン発酵事例①

内容	河川堤防の刈草を活用した下水汚泥の混合消化ガス発電実証事業
出典	山崎憲人・杉浩行：河川堤防の刈草を活用した下水汚泥の混合消化ガス発電の経済性と環境負荷軽減の検討、平成26年度・北陸地方整備局・事業研究発表会、pp.1-5、2014.
所在地	新潟県中部下水処理場
材料	河川堤防刈草+下水汚泥
①概要	
・加工と利用方法	下水汚泥と刈草を混合消化し、消化ガス発電、廃熱利用に活用する実証事業。脱水汚泥はセメント原料等とする。
・設備	破砕処理、保管スペース、消化槽、ガス発電機
②目的	堤防除草で発生する刈草と下水汚泥の共同処理による消化ガス発電を実施することによる、河川管理者及び下水道事業者によるコスト縮減や環境負荷軽減を目指す。
③スキーム	信濃川下流の直轄河川堤防において、焼却処理施設へ搬出している刈草を、近傍の新潟市の中部下水処理場に搬出し、下水汚泥と混合し嫌気性消化により発生するメタンガスを活用して発電を行う。
④採算性	事業の条件： <ul style="list-style-type: none"> ・中部下水道処理場における濃縮汚泥量62,154m³（8月-9月）。 ・信濃川下流の堤防除草刈草171トン。 採算性： <ul style="list-style-type: none"> ・中部下水道処理場の濃縮汚泥62,154m³に対し、90万円の費用削減。 ・河川管理者の刈草171トンに対し、70万円の費用削減。
⑤刈草の要求品質	堤防除草した後、法面上や法肩、法尻における刈草の野ざらしの状態における腐敗を避ける
⑥特徴	コスト縮減に加え、従来分の焼却処理に伴うCO ₂ の削減効果も期

	待できる。
⑦備考	<p>野ざらしの状態における腐敗を避けるための保管スペースの確保。</p> <p>刈草の処理能力が5トン/日を超える場合、都道府県知事から廃棄物処理施設の許可が必要となる。</p> <p>下水処理施設に本方法を適用する場合、立地場所、規模、刈草の供給可能量などの諸条件によって採算性が変化する。</p>

メタン発酵事例②

内容	未利用植物系バイオマスのメタン発酵可能性調査
出典	高島正信：未利用植物系バイオマスのメタン発酵、 福井工業大学研究紀要、第41号、pp.387-392、2011.
所在地	福井工業大学
材料	ヨシ、マコモ、雑草類（ヨモギ、ムギ類）
①概要	
・加工と 利用方法	ヨシ、マコモ、雑草類を粉砕、微細化し、福井市内下水処理場の 嫌気性消化タンクから採取した嫌気性消化汚泥を混合する。
・設備	粉砕機械、微細化機械、メタン発酵槽 等
②目的	材料が豊富でそのまま廃棄されることが多い植物系バイオマスを取 り上げ、そのメタン発酵性について調査し、下水汚泥と同等の メタン発酵原料の確保を図るための方策を明らかにする。
③スキ ーム	ヨシ、マコモ、雑草類を粉砕、微細化し、福井市内下水処理場の 嫌気性消化タンクから採取した嫌気性消化汚泥を種汚泥として混 合する。
④採算性	ヨシ、マコモ、雑草類は、メタン転換率が下水汚泥と同等又は高 く、メタン発酵事業を進めていく、下水処理場におけるメタン発 酵原料として活用が可能。
⑤刈草の 要求品質	ヨシ、マコモ、雑草類は事前に破砕する。
⑥特徴	草刈りされた草はごみとして焼却処分されることが圧倒的に多い と推測されるので、未利用植物系バイオマスを実規模メタン発酵 施設へ供給すれば、より多くのメタンガスを生み出すことが可能 となる。
⑦備考	生分解性の混入が多い場合の分解能低下や有機酸による一時的分 解阻害が起きる。

メタン発酵事例③

内容	膨張軟化処理による草木質系バイオマスのメタン発酵の検討
出典	大月伸司、池本良子、高野典礼、中出貴大、中木原江利：膨張軟化処理による草木質系バイオマスのメタン発酵の促進、第22回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2011、pp.309-310、2011.
所在地	金沢大学、金沢市城北水質管理センター等
材料	草木質系バイオマス 消化汚泥は、金沢市城北水質管理センターの嫌気性消化槽から採取
①概要	
・加工と利用方法	膨張軟化処理を草木質系バイオマスの前処理に用いる方法について回分式混合嫌気性消化実験によって検討した。
・設備	もみ殻の堆肥化処理等に用いられている膨張軟化処理(水分添加しながら、機械的に圧縮加圧後圧力開放することで、組織内部から破壊する処理) 等
②目的	加熱を必要とせず、省エネルギーな処理方法であり、形状、性状変化によって、親水性を高め、汚泥との均一な混合状態の維持と共に、細胞の破壊による反応促進が期待できる膨張軟化処理をメタン発酵の基質利用に必要な前処理に用いる。
③スキーム	下水汚泥処理施設の嫌気性消化槽への草木質系バイオマス活用に際しての前処理として膨張軟化処理を施す
④採算性	特に記載なし。 (膨張軟化処理を行うことで、メタン生成量が1.3～3.0倍になった。膨張軟化処理はメタン生成量、炭素分解率を約1.5倍、バイオガス生成速度を約1.3倍に増加させる効果があった。*上記によるメタン生成コストの縮減が期待できる。)
⑤刈草の要求品質	膨張軟化処理前に破砕、ふるい分けが必要

⑥特徴	膨張軟化処理は破碎、すり潰し、オートクレーブ等の他の前処理に対して明らかな優位性が確認できた。
⑦備考	膨張軟化処理の効果が草木質系バイオマスの性状変化に大きく依存する。

メタン発酵事例④

内容	イタリアBTS社のバイオガス発電事業化のシステム検討
出典	BTS社のバイオガス発電システム、バイオマス産業エネルギー研究所、作成年不明、 http://www.zenkei.ne.jp/pdf/biomass.pdf
所在地	イタリア
材料	刈草（その他バイオマス全般）
事業者	BTS社 （バイオガस्पラント運営事業者）
①概要	
・加工と利用方法	刈草を鶏糞、生ゴミ、食品廃棄物とともに、非スラリー系原料とし、家畜糞尿をスラリー系原料として混合発酵し、メタン発酵による発酵熟成槽から生成されるバイオガス処理によるガス発電を行う。
・設備	原料サイロ、解繊機、発酵槽（解繊）、ポンプピット、発酵熟成槽、ガス精製装置、発電機、消化汚泥利用室 等
②目的	刈草を含む様々な原料の組合せによる、100kW～1.0MW出力のバイオガス発電システムを構築する。
③スキーム	

④採算性	<p>標準プラント価格：</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 出力1000 kWで建設費が130億円→出力単価130万円/kW相当 ➤ 出力500 kWで建設費が75億円→出力単価150万円/kW相当 ➤ 出力200 kWで建設費が35.6億円→出力単価178万円/kW相当 ➤ 出力100 kWで建設費が19.6億円→出力単価196万円/kW相当 ➤ 出力50 kWで建設費が11億円→出力単価220万円/kW相当
⑤刈草の要求品質	<p>刈草等の非スラリー系原料は解繊機で粉碎・加温してから一次発酵槽へ投入する。</p>
⑥特徴	<p>メタン発酵につきものの、においの問題が発生しない。 多様な原料によりガス発生量・発電量が多い。 発電稼働率が高く、FIT制度（買取価格39円/kWh）下では、事業収益性が高くリスクが少ない。</p>
⑦備考	<p>事業採算性を確保するために、刈草に加えて鶏糞、生ゴミ、食品廃棄物を固形物濃度12%以下、NH₄発生濃度5000ppm、H₂S発生濃度1,000ppm、pH7.8～8以下になるように配合、組合せし、かつ発電が最大になるように調整することが必要。</p>

メタン発酵事例⑤

内容	乾式メタン発酵による刈草を含めたバイオガス発電事業化検討
出典	Michael Köttner : How to build Grass based ecological Biogas Plants? International Biogas and Bioenergy Center of Competence、(ワークショップ・パワーポイント資料)、(08.02.2012)
所在地	ドイツ
材料	刈草 (その他バイオマス全般)
事業者	International Biogas and Bioenergy Center of Competence (バイオガスプラント運営事業者)
①概要	
・加工と利用方法	乾式メタン発酵による発酵熟成槽から生成されるバイオガス処理によるガス発電を行う。
・設備	投入重機、乾式メタン発酵槽、バイオガス精製・貯蔵施設 等
②目的	乾式の加熱と水分調整によるバイオガス発電システムの構築
③スキーム	<p>システムの概略は以下の通り。</p> <pre> graph TD A[バイオマス供給原料] --> B[洗浄、殺菌] B --> C[乾式メタン発酵] C --> D[熱交換] D --> E[コージェネレーション] E --> F[電力と熱の分配] E --> G[バイオガス精製] G --> H[天然ガスパイプラインへ供給] G --> I[貯蔵] I --> J[フレア] </pre>
④採算性	<p>初期投資額：</p> <p>250kW発電規模プラントの初期投資額：約124万ユーロ</p> <p>600kW発電規模プラントの初期投資額：約221万ユーロ</p> <p>*電力供給コスト含まず</p> <p>採算性：40年稼働で収益確保</p>
⑤刈草の要求品質	想定している刈草は、クローバー。

⑥特徴	コントロールシステムによって温度、水分等を細かく制御する。
⑦備考	規模が小さい施設の投資効率が低く、採算性が確保できない。

メタン発酵事例⑥

内容	刈草主体のバイオガス発電事業採算性検証（ドイツ）
出典	Martin Elsäßer, Jörg Messner, Ulrich Keymer, Reinhard Roßberg, Frank Setzer : Biogas from Grass、DLG Expert Knowledge Series 386、2012.
所在地	ドイツ
材料	刈草（その他バイオマス全般）
事業者	（バイオガスプラント運営事業者）
①概要	
・加工と利用方法	刈草をサイレージにした原料をメタン発酵によるバイオガス処理によりガス発電を行う。
・設備	投入重機、乾式メタン発酵槽、バイオガス精製・貯蔵施設 等
②目的	牧草採草地の土地生産性向上及び大規模な土地の有効活用を目的に、畜産用に利用してきた、採草地の刈草をサイレージ化し、これを原料としてメタン発酵によるバイオガス処理によりガス発電を行う。
③スキーム	採草地を活用した刈草主体の土地利用型バイオガス発電事業
④採算性	プラント建設コストに関する具体的な額は示されていない。 なお、年間収支計算より、500kW以上の規模の発電プラントで事業採算性が確保できるとしている。 *本文献では、年間総売上高を踏まえ、75kW（127,900ユーロ/アール）、190kW（320,975ユーロ/アール）、500kW（801,581ユーロ/アール）、1000kW（1,480,289ユーロ/アール）の4ケースで事業採算性を評価しており、500kW、1000kWの2ケースで収益がプラスとなる。
⑤刈草の要求品質	牧草としての収穫量の高い刈草を活用することで土地生産性を高めることを求めている。
⑥特徴	原料となる牧草との一体的な事業としており、規模要件が事業の成功要因となる。
⑦備考	採草地を活用した刈草主体の土地利用型バイオガス発電事業で

	あり、発電と畜産業による収益の比較検討により採算性が左右される。
--	----------------------------------

(イ) 飼料化

刈草（牧草地で採取された牧草は除く）の飼料化（畜産飼料として使う）について収集したものは以下の通りであった。

参表-2 “飼料化”に関する事例

所在地	内容	出典
国内	①河川堤防刈草を活用した乳牛用発酵 TMR 飼料化実証事業	1.高梨勝：河川堤防刈草を有効利用した乳牛用発酵 TMR 飼料の利用技術、畜産技術 701、pp.13-17、2013. 2.須藤吉康、江藤哲雄：河川堤防刈り草を有効活用した乳牛用発酵 TMR 飼料の開発による牛生産コスト削減効果の評価、河川堤防刈草の有効活用、pp.39-48、2014.
	②酪農環境負荷軽減支援制度（河川敷等の未利用地の有効利用への奨励金対象事業）	1.農林水産省畜産企画課：環境負荷軽減に取り組む酪農経営の推進、酪農環境負荷軽減支援事業（2009-2015） 2. 農林水産省畜産振興課、国土交通省河川環境課：河川堤防の刈草を活用しませんか（河川堤防の刈草を家畜の飼料に）、Ver.01、2011.
	③北海道における河川堤防除草刈草の飼料化事業	著者不明（作成者・国土交通省北海道開発局）：牛の放牧を活用した堤防除草、北海道エコ・コンストラクション・イニシアチブの推進、北海道エコ・コンストラクション・イニシアチブ HP、地域と連携した先駆的・実践的取組②、作成年不明、 http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_jigyou/gijyutu/econ/torikumiwosagasu/ushinohoubokuwokat_suyoushitateiboujosoukou.pdf
	④島根県道路除草刈草の飼料化事業	1.島根県土木部道路維持課：「神話の国しまね」新たな維持管理への挑戦、道路行政セミナー2009.7、（河川堤防の刈草を家畜の飼料に）、pp.5-6、2009. 2.島根県畜産技術センター、畜産技術普及グループ：土木部との連携により、道路の刈草を、家畜の飼料に!!、畜産技術レポート、第 68 号、2010.

ア メ リ カ	⑤除草刈草のヒツジの飼料化への 可能性調査	Thomas M.McBride、Anthony P.Knight : Evaluation of Grass Clippings as a Feed Source for Sheep,Colorado State Univ. http://extension.colostate.edu/docs/pubs/ag/grassclippings-tm.pdf
------------------	--------------------------	---

飼料化事例①

内容	河川堤防刈草を活用した乳牛用発酵TMR飼料化実証事業
出典	1.高梨勝：河川堤防刈草を有効利用した乳牛用発酵TMR飼料の利用技術、畜産技術701、pp.13-17、2013. 2.須藤吉康、江藤哲雄：河川堤防刈り草を有効活用した乳牛用発酵TMR飼料の開発による牛生産コスト削減効果の評価、河川堤防刈草の有効活用、pp.39-48、2014.
所在地	利根川（右岸：千葉県側）手賀川両岸
材料	堤防除草刈草
事業者	NPO法人エコグループ市原 NPOいきいき畜産ちばサポートセンター
①概要	
・加工と利用方法	ロールベアラで回収した堤防除草刈草をラップサイレージ化し、乳牛用発酵TMR飼料加工して近傍の牧場へ販売。 TMR（total mixed rations:混合飼料）は、乳牛の養分要求量に合うように粗飼料、濃厚飼料、ミネラル、ビタミンなどをすべて混合し、自動給餌させる方式。
・設備	ロールベアラ 等
②目的	畜産側：堤防除草刈草の利用による生産コスト削減 （河川堤防刈草を購入乾草等に対する代替え可能な粗飼料源として活用） 河川管理者：堤防刈草の処理経費削減
③スキーム	河川管理者と畜産側が役割を分担し、双方合意のもとで飼料化事業を行う。 刈取り+集草：河川管理者（国土交通省） 梱包・ラッピング以降、加工、流通・販売：畜産側
④採算性	■生産コスト： 河川堤防刈草の生産コスト　　：12.52円/kg・堤防刈草 乳牛用発酵TMR飼料生産コスト　：12.70円/kg・堤防刈草 （合計：25.22円/kg）

	<p>■購入希望価格：生産コストとほぼ同等である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・乾草 10～20円（庭先渡し価格） ・ラップサイレージ 10～20円（庭先渡し価格） ・発酵TMR飼料 25円/kg（庭先渡し価格）
⑤刈草の 要求品質	<p>集草までの作業との連携が重要。</p> <p>→刈取り後の降雨による養分ロスを避けるため、刈取後できるだけ早く収穫（回収）することが要求される。刈取り、集草間隔が1日でも可能。</p> <p>砂礫の混入が少ないものが要求される。</p> <p>（利根川（右岸：千葉県側）手賀川両岸の堤防除草刈草では、重量比で4%程度混入していた。）</p> <p>ビニール、空き缶等異物が混入していないこと。</p> <p>イネ科主体（キク科の少ないもの）が要求される。</p> <p>毒草がないことが要求される。</p> <p>ベーカーは堤防構造にもよるが、120cm程度が可。</p>
⑥特徴	<p>堤防除草と収穫が適期に行われれば良質の刈草を確保することが可能。</p>
⑦備考	<p>刈草が集草されずに放置された場合は、枯れたままの残草がマット状になり、次の植生と刈草の品質に影響を及ぼすことが懸念される。</p> <p>河川堤防の近くに作業を行うための機械が整えられた基地、ラッピング及びTMR調製のための施設が整備されることが必要。</p> <p>長雨等により品質が低下し、阻飼料として利用できない草の処理のための堆肥製造施設等が必要。</p>

飼料化事例②

内容	酪農環境負荷軽減支援制度 (河川敷等の未利用地の有効利用への奨励金対象事業)
出典	1.農林水産省畜産企画課：環境負荷軽減に取り組む酪農経営の推進、酪農環境負荷軽減支援事業(2009-2015) 2. 農林水産省畜産振興課、国土交通省河川環境課：河川堤防の刈草を活用しませんか(河川堤防の刈草を家畜の飼料に)、Ver.01、2011.
所在地	全国の直轄河川
材料	堤防除草刈草
事業者	畜産農家
①概要	
・加工と利用方法	刈った草そのまま、もしくはロール化したものを畜産農家が飼料として活用。
・設備	ロール化する場合はロールベアラ 等
②目的	堤防の草類には牧草が含まれており、堤防除草刈草の処理コスト削減(河川管理者)と畜産農家の生産コスト縮減・環境配慮・自給率向上を目指した資源の有効活用を目的とする
③スキーム	河川管理者と畜産側が役割を分担し、双方合意のもとで飼料化事業を行う。 刈取り+集草：河川管理者(国土交通省) 搬出・活用(飼料化)：畜産側
④採算性	特に記載なし。 (※酪農環境負荷軽減に資する本取組みは15ポイント以上の取組を実践した酪農経営者に交付される奨励金(15,000円/ha)対象活動の5ポイント分となる。)
⑤刈草の要求品質	ゴミの混入を減らす 毒草の混入を避ける 刈取り後の降雨による養分ロスを避ける
⑥特徴	河川堤防では農薬・化学肥料を使っていないことがアピールできる。

	毎年定期的に除草が行われるため、毎年安定的に供給が可能となる。
⑦備考	<p>刈草の利用（提供）にあたって、提供事業者（河川管理者）から以下注意事項が示されており、畜産農家側の十分な理解と自己責任における管理が求められる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・提供される刈草の状態（集草の有無やロール化の有無）が各河川で異なる。 ・ゴミ等混入を減らすため、除草前に目視での除去を行っているが、取りきれないゴミ等が若干混入している場合がある。 ・河川堤防にはいろいろな種類の草が混在しているので、利用する側で用途に適しているか判断する。 ・提供を受けた刈草は、取得した刈草の全量について責任をもって利用し、投棄等しない。

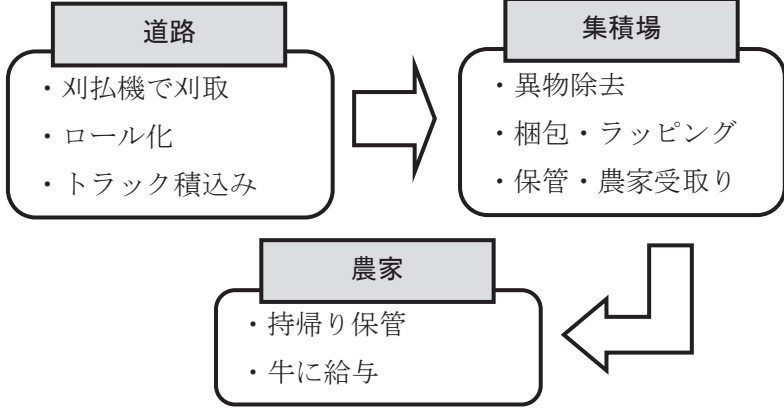
飼料化事例③

内容	北海道における河川堤防除草刈草の飼料化事業
出典	国土交通省北海道開発局：牛の放牧を活用した堤防除草、北海道エコ・コンストラクション・イニシアチブの推進、北海道エコ・コンストラクション・イニシアチブHP、地域と連携した先駆的・実践的取組②、作成年不明 http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_jigyoku/gijyutu/ecocon/torikumiwosagasu/ushinohoubokuwokatsuyoushitateiboujosoukou.pdf
所在地	十勝川ウツナイ築堤
材料	刈草
事業者	地元酪農家
①概要	
・加工と利用方法	牛の放牧（除草刈草の飼料化）
・設備	牧草収穫、集草機械 等
②目的	北海道の河川堤防（17,390千㎡）では、刈草の地域内リサイクル（廃棄物の飼料化）と堤防法面の除草コストの縮減、処分費縮減、CO ₂ 排出量の削減を目指し、地元酪農家との連携による「地元酪農家による除草・集草」や「刈草の堆肥化」、「飼料としてリサイクル」を実施。現在、北海道の6割の刈草が有効利用されており、今後さらなる取組の拡大・浸透を目指しており、本事例はその一環として取組まれている。
③スキーム	これまで河川管理者が行ってきた堤防の除草を、平成20年度から地元酪農家により実施。牛の放牧による堤防管理については、平成17年度から試験施工を実施し、堤防管理上問題がないことが確認できたため、豊頃町農協との連携により、十勝川ウツナイ築堤（35,000㎡）において実施。
④採算性	十勝川ウツナイ築堤（35,000㎡）のコスト縮減1,300千円 十勝川ウツナイ築堤（35,000㎡）の除草機械燃料が削減されるた

	めCO ₂ 排出量削減量1.0トン
⑤刈草の 要求品質	地元酪農家が直接除草・集草を行うため、河川管理者との協議により確認する。
⑥特徴	地元豊頃町農協との連携
⑦備考	現在、北海道の6割の刈草が有効利用されており、今後さらなる取組の拡大・浸透を目指して取組みが求められる。

飼料化事例④

内容	島根県道路除草刈草の飼料化事業
出典	1.島根県土木部道路維持課：「神話の国しまね」新たな維持管理への挑戦、道路行政セミナー2009.7、(河川堤防の刈草を家畜の飼料に)、pp.5-6、2009. 2.島根県畜産技術センター、畜産技術普及グループ：土木部との連携により、道路の刈草を家畜の飼料に!!、畜産技術レポート第 68号、2010.
所在地	島根県松江市・太田市
材料	道路除草刈草
事業者	県道路管理者 畜産農家
①概要	
・加工と利用方法	道路脇の刈草を梱包ラッピングして牛の飼料として有効利用する。
・設備	小型ロールベアラ、小型ラッピングマシン 等
②目的	道路管理者、河川管理者は、除草作業で毎年大量に発生する刈草の処分に困っている。一方、穀物のバイオエタノール燃料需要の増加等による家畜の飼料価格の高騰は、畜産農家の経営を圧迫してきた。土木部サイドは「処理経費の削減」、「焼却しないことで環境にやさしい処理の実現」、畜産サイドは「畜産農家の飼料価格高騰対策」及び、それらの経済的効果や環境効果を期待して開始された。
③スキーム	道路で刈り取られた草を集積場に運搬集積し、異物除去後、梱包ラッピング、その場で保管し、引き渡し日を決めて農家が持ち帰るシステムである。

	 <p>平成21年度、島根県土木部で道路刈草利用試行モデルとして事業化され、松江市と大田市を対象にロールベアラとラッピングマシンを各2台ずつ購入し、サイレージ化にかかる費用は全て土木部で負担した。土木部としては、刈草処分費の軽減を想定。</p>
④採算性	<p>松江市の事例で示すと、これまでの処分場での処理経費6,000円/m³に対し、今回の梱包ラッピングに掛かる経費は4,560円/m³と経費削減を達成した。また、経済効果は57万3千円で、この取り組みが松江市全体に波及すれば約295万円の経費削減が期待されている。</p>
⑤刈草の要求品質	<p>(異物混入対策) 県土整備事務所、農家双方が、空き缶、木片など異物が混入していないかチェックする。</p> <p>(有害草混入対策) 農林水産部農業技術センターがアジサイなど有害植物の写真入りリストを作成し、県土整備事務所へ配布し、施工業者に周知する。</p>
⑥特徴	<p>品質が悪く飼料利用できなかったものは、果樹園の敷草および園芸用の堆肥利用として配付した結果、総配付率は95%となり、廃棄処分を極力少なくした。</p>
⑦備考	<p>平成21年度の完成梱包数は3,225梱包であったが、品質が悪く梱包チェックの結果、家畜飼料利用として畜産農家へ配付できた梱包数は1,837個、配付率で57%であった。</p>

飼料化事例⑤

内容	除草刈草のヒツジの飼料化への可能性調査（アメリカ）
出典	Thomas M.McBride、Anthony P.Knight: Evaluation of Grass Clippings as a Feed Source for Sheep, Colorado State Univ. http://extension.colostate.edu/docs/pubs/ag/grassclippings-tm.pdf
所在地	アメリカ コロラド州
材料	除草刈草
事業者	芝管理者、ヒツジ飼養者
①事業の概要	
・加工と利用方法	芝刈草をヒツジの飼料として有効利用する。
・設備	除草機械、破碎機械 等
②事業の目的	都市開発に伴い造成・整備される緑地の雑草防除について、コスト縮減と環境配慮を目的にヒツジの飼料原料とする。
③事業のスキーム	都市開発用地の管理者が緑地管理で発生する除草刈草を回収し、ヒツジの飼養者へ飼料として提供する。
④採算性	特に記載なし。 (安全面とコスト縮減効果が確認された)
⑤刈草の要求品質	芝管理用の除草剤が基準値以上にならないこと。
⑥特徴	芝管理用に規定量を守った除草剤を散布しても、その芝の除草刈草を食べたヒツジの尿からは除草後2日経過で除草剤成分は検出されなかった。
⑦備考	除草剤の使用を前提としており、肉・乳は食用には使えない。畜産農家との連携事業としての全体的な採算性を検証する必要がある。

(ウ) 堆肥化

刈草の堆肥化（堆肥として使う）について収集したものは以下の通りであった。

参表-3 “堆肥化”に関する事例

所在地	内容	出典
国内	①荒川上流河川堤防除草刈草の堆肥化事業	さいたま統計・情報センター：堤防除草で発生する刈草を堆肥化、さいたま統計・情報センター情報収集資料（公開資料）、作成年不明
	②亀山市一般廃棄物の刈り草コンポスト化事業	1.亀山市：亀山市一般廃棄物処理基本計画(ごみ処理基本計画編)平成23年3月 2.日本エヌ・ユー・エス株式会社：ごみ減量化検討事前調査業務報告書 平成24年3月、三重県
	③阿蘇地方における草原野草堆肥化事業	発行・九州地方環境事務所、編集・NPO 法人九州バイオマスフォーラム：野草堆肥利用マニュアル、pp.1-30、2006.
ドイツ	④ドイツ・アウトバーンの除草刈草コンポスト化事業	1.片谷克也：道路のものは道路に還す（ドイツの刈草コンポストと自然保護）、道路と自然 74、1992 冬号、pp.50-53、1992. 2.内海東男、三津山恭弘、山田一雄：植物資源のリサイクル（刈草の堆肥化）、高速道路と自動車、第35巻・第4号、pp.45-48、1992.
アメリカ	⑤アメリカにおける植物廃材の堆肥化手法の紹介	C.R.Wilson, J.R.Feucht. Revised by S. Newman: Yard Waste, Colorado State University Extension(Gardening Series-Yard. 1997/10. Revised 2014/10, www.ext.colostate.edu
オーストラリア	⑥オーストラリアにおける植物廃材の堆肥化手法の紹介	オーストラリア政府 農林水産省：A Lantana (IEWF) Managing green waste to reduce weed spread for home gardeners、A Lantana (IEWF)、作成年不明

堆肥化事例①

内容	荒川上流河川堤防除草刈草の堆肥化事業
出典	さいたま統計・情報センター：堤防除草で発生する刈草を堆肥化、さいたま統計・情報センター情報収集資料（公開資料）、作成年不明
所在地	埼玉県 東松山、朝霞、大里
材料	刈草
事業者	国土交通省荒川上流河川事務所
①概要	
・加工と利用方法	刈草は3cmを目安に破碎し、水を加えて発酵。 4回程度の攪拌、4か月で完熟 「荒川緑肥（肥料登録）」と命名し、近隣の農家や園芸愛好家に無償提供、市・学校での利用やイベント会場で無料配布
・設備	ハンドガイド、コンボ、パッカー車、2tダンプ、堆肥化ヤード（28区画）、ロールベアラ、破碎機、ふるい、倉庫 等
②目的	これまで刈草は刈り取った場所で焼却処分していたが、平成9年に埼玉県条例で野焼きが禁止になったことや公共の焼却場では全てを処理しきれないなどの問題もあり、8～9年の堆肥化実験を経た後、10年より本格的な堆肥製造を開始。自然の営みから発生する植物廃材を利用した資源循環型社会の構築を目的としている。
③スキーム	堤防の除草作業時（毎年5月上旬以降）に発生する刈草の一部を2tダンプやパッカー車にて堆肥製造施設まで運搬。堆肥化施設に持ち込まれた刈草は3cmを目安に破碎し、水を加えて発酵させる。発酵を均一にするため、4回程度のかく拌作業を行い、4か月で完熟した、堆肥（300t/年）が完成する。
④採算性	施設整備費 20,000千円（施設処理能力 1,000t/年） 堆肥化される前の刈草は、全て一般廃棄物として公共の清掃センターで焼却処分されていたが、同取組により植物廃材の有効利用が図られ、処分費用の軽減になった。

⑤刈草の 要求品質	ゴミ等の異物除去
⑥特徴	二酸化炭素の排出減少にもなり、環境に配慮した資源循環型社会の構築を実践している。イベント等を通じ、事務所のリサイクル活動の宣伝や「荒川緑肥」の利用者からは好評を得ている。
⑦備考	堤防除草は年間2回行っているが、堆肥化ヤードの処理能力に限界があり、現状では最初の除草作業で発生する刈草の一部しかたい肥化できず、処理能力の向上が求められている。

堆肥化事例②

内容	亀山市一般廃棄物の刈り草コンポスト化事業
出典	1. 亀山市：亀山市一般廃棄物処理基本計画 （ごみ処理基本計画編）平成23年3月 2. 日本エヌ・ユー・エス株式会社：ごみ減量化検討事前調査業務報告書 平成24年3月、三重県
所在地	刈り草コンポスト化センター（関町新所175-3）
材料	道路、河川等の公共施設から発生する刈草
事業者	三重県亀山市
①概要	
・加工と利用方法	亀山市刈り草コンポスト化センターには、道路、河川敷、家庭等から出る刈り草をコンポスト化して資源化及び有効利用することを目的として、刈り草堆肥化施設を整備している。 処理は、破碎（せん断）、天地替え、天日乾燥によるコンポスト化による。破碎粒径は概ね2.0cm以下、市民への無償配布や公共施設及び関係機関等で活用している。
・設備	二軸せん断式破碎 RRC-1552-E シュレットX型破碎機 等 処理能力 1 t/時 運転時間 7 h/日 投入サイズ 最大径5.0cm 最大長50.0cm
②目的	公有地（道路、河川）の除草業務で発生した草や一般廃棄物として搬入された草（家庭等）を堆肥化し、資源化・有効利用することを目的としている。
③スキーム	亀山市総合環境センター条例によって「亀山市刈り草コンポスト化センター」の設置（関町新所175-3）が定められている。
④採算性	刈り草コンポスト化センターで、市内の河川や道路わきの草を対象として受け入れている。引き取り対象とする草は、市、県、国の事業、市内の事業者、市民が回収した草としている。市内であれば特に制限はない。年間1000t が搬入され、事業者からの持ち込みについては100 円/10kg 手数料を徴収（一般市民の方が持ち

	<p>込む刈り草については、350kg まで免除としている。) しており、年間1000 万円程度の歳入となっている。なお、刈り草コンポスト化センターに持ち込まれる草のほとんどは、事業者からのものである。通常時のランニングコストは低く、人件費として基本的にシルバー人材の方を2 名、ベルトコンベア等の運転に要する電気代である。</p> <p>(上記は、「ごみ減量化検討事前調査業務報告書」平成24年3月、三重県の委託を受けた日本エヌ・ユー・エス(株)より抜粋)</p>
⑤刈草の要求品質	<p>搬入した刈草に混入している異物(石・ゴミ等)は刈り草コンポスト化センターにて作業員が除去している。</p>
⑥特徴	<p>堆肥の配布は、刈り草コンポスト化センターが月～金曜日、一部亀山市総合環境センターでも月～土曜日に配布している。引き取りは、一般市民、農業従事者の方がほとんどである。堆肥化された量は100%引き取られている。</p> <p>(上記は、「ごみ減量化検討事前調査業務報告書」平成24年3月、三重県の委託を受けた日本エヌ・ユー・エス(株)より抜粋)</p>
⑦備考	<p>平成23 年に亀山市で実施した事業仕分けの対象となり、有料化にする意見が出されたが、ひとまず保留となっている。</p>

堆肥化事例③

内容	阿蘇地方における草原野草堆肥化事業
出典	発行・九州地方環境事務所、編集・NPO法人九州バイオマスフォーラム：野草堆肥利用マニュアル、pp.1-30、2006.
所在地	阿蘇地方
材料	阿蘇地方の草原にあるススキ等の野草
①概要	
・加工と利用方法	① 野草を牛の敷料として利用した後、発酵させたもの。 ② ①に野草を加え発酵させたもの。 ③ 野草に米ぬか等を加え発酵させたもの。 ④ 野草を直接土にすき込んだものやマルチとして利用後にすき込んだもの。
・設備	堆肥舎、発酵ヤード、切り返し用重機 等
②目的	野草の利用を拡大し、阿蘇地方の草原の保全を図る。
③スキーム	NPO法人九州バイオマスフォーラムが草の提供をサポートし、阿蘇高森オーガニック・アグリセンター、阿蘇市堆肥センター、(株)エコ・アールの3団体が野草堆肥の販売。
④採算性	特に記載なし
⑤刈草の要求品質	特に記載なし
⑥特徴	野草堆肥は昔から伝統的に阿蘇の田畑の地力と草原を維持してきた。また、野草堆肥で育てた野菜はおいしいと評判で、野草堆肥の価値が見直されている。
⑦備考	堆肥の肥料成分は年々累積することから、過剰施肥は発育障害となるので堆肥の多量施肥は控える必要がある。

堆肥化事例④

内容	ドイツ・アウトバーンの除草刈草コンポスト化事業
出典	1.片谷克也：道路のものは道路に還す（ドイツの刈草コンポストと自然保護）、道路と自然 74、1992冬号、pp.50-53、1992. 2.内海東男、三津山恭弘、山田一雄：植物資源のリサイクル（刈草の堆肥化）、高速道路と自動車、第35巻・第4号、pp.45-48、1992.
所在地	ドイツ・アウトバーン（バイエルン州）
材料	刈草
事業者	ドイツ国バイエルン州政府道路局
①概要	
・加工と利用方法	堆積・切り返し→発酵・腐植化によるコンポスト活用
・設備	コンポスト製造場（約3,200㎡） 刈草堆積フローア、ミキシング、多目的作業用自動車 等 刈草の液汁をタンクに集め、堆肥に散布して発酵を早める。
②目的	緑地から発生する刈草や風倒木などのバイオ資源のリサイクルと活用の一つとして、特に環境保護の観点からコンポスト化し土に還す。
③スキーム	バイエルン州に50か所あるコンポスト製造場に対し、1台の多目的作業用自動車で8か所のコンポスト製造場を巡回し、稼働率を高めてコンポスト製造を実施。 バイエルン州では、完熟したコンポストを全て管理する道路緑地の施肥として使用。 他州の一部では、一般に販売。
④採算性	コンポストの製造に使用する多目的作業用自動車およびアタッチメントの価格は、当時の概算で以下の通り。 ・本体 多目的作業用自動車：17万マルク ・アタッチメント チップングマシン 2.5万マルク ミキシングマシン 9万マルク 掃除機 1万マルク 事業者（道路局）は採算性を一切考慮していない。
⑤刈草の要求品質	完熟したコンポストの成分検査を行い、道路粉じんに含まれる重金属による毒性のないもの。

⑥特徴	ミュンヘン郊外という条件により、露天の作業においても悪臭等の公害の心配が無い。
⑦備考	堆積した刈草から浸出する液汁をタンクに集め、これを刈草に散布することで発酵をさらに進めている。この草汁の成分について、交通量の激しい道路の路傍の刈草ほど「毒性」が強いということで、使用にあたっては、完熟したコンポストの成分検査を行い、「毒性」の強いものは、ゴミ処分場へ廃棄している。

堆肥化事例⑤

内容	アメリカにおける植物廃材の堆肥化手法の紹介
出典	C.R.Wilson, J.R.Feucht. Revised by S. Newman: Yard Waste, Colorado State University Extension (Gardening Series-Yard. 1997/10. Revised 2014/10, www.ext.colostate.edu
所在地	アメリカ (コロラド州)
材料	緑地の植物廃材全般
事業者	緑地管理者
①概要	
・加工と利用方法	除草した刈草等を破碎し水分調整と切り返しによる酸素供給を基本とした伝統的な堆肥化手法を紹介
・設備	堆肥化設備：木枠、プラスチックのコンポスター 等
②目的	落ち葉、刈草、剪定枝、野菜くず等の総合的な植物系廃材の堆肥化を図り、元の緑地へ還元することでゴミの排出量を軽減させるとともに、堆肥化（コンポスト化）過程の分解で緑地の植物廃材の容積を50～75%に減容化する。
③スキーム	緑地管理者自らの堆肥化、緑地還元を基本としている。
④採算性	特に記載なし。
⑤刈草の要求品質	特に記載なし。
⑥特徴	用途を植物廃材の特性に見合った土壌改良とマルチングに限定することで簡便な製造方法にて堆肥製造が可能となる。
⑦備考	雑多な緑地の植物廃材を発酵させると微生物層も安定しなく、食糧作物に対しては病原菌となる菌が増殖する可能性があることから、農業作物への活用は慎重を期する必要がある。 堆肥化の場所選定にあたり、風当たりの強い箇所は発酵過程で乾燥が進みやすいので、さける必要がある。

堆肥化事例⑥

内容	オーストラリアにおける植物廃材の堆肥化手法の紹介
出典	作成者・オーストラリア政府 農林水産省 : A Lantana (IEWF) Managing green waste to reduce weed spread for homegardeners、A Lantana (IEWF)、作成年不明
所在地	オーストラリア
材料	落葉、剪定枝葉、刈草等の植物系発生材
事業者	緑地管理者、ホームガーデナー
①概要	
・加工と 利用方法	<p>堆肥原料として、落葉、剪定枝葉、刈草等の植物系発生材を連続して設置する小型の木製パレットに入れ、これを順繰りに移動させることで、1か所でのスコップ等を使った人力による労力の多い切り返しによる酸素供給や水分調整を簡便にできる製造・管理を行う。</p> <div data-bbox="411 1126 1149 1534" data-label="Image"> </div>
・設備	<p>発酵過程における発酵槽内の保温・水分調整設備：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 小型の木製パレット ・ 網状の容器 等
②目的	<p>廃棄物の発生抑制、植物廃材の埋め立て処分に伴うメタン等の温室効果ガス発生抑制、埋立地の延命等を目的に緑地の植物廃材全般について、堆肥化によるリサイクルを図る。</p>

③スキーム	緑地管理者自らの堆肥化、緑地還元を基本としている。
④採算性	特に記載なし
⑤要求品質	C/N比（炭素/窒素比）が高すぎる場合は窒素を添加し、低い場合は植物系資材を追加する等の発酵促進に有効な材料調整を行う。
⑥特徴	地元のガーデンセンター等の相談機関がアドバイスを行っている。
⑦備考	緑地の植物廃材の取り扱いには雑草種子や植物の病原菌を拡散させるリスクが伴う。小型設備を用いて屋外にて行う発酵管理においても、55℃以上の高温条件を確保する等草種子や植物の病原菌を確実に死滅させる技術が求められる。

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4356 March 2017

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754