

埼玉県寄居町をケーススタディとした バイオマス利用可能性評価

栗栖(長谷川) 聖¹・吉田 拓²・石井 暁³・花木 啓祐⁴

¹正会員 東京大学 先端科学技術研究センター 講師 (〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1)
E-mail:kiyo@env.t.u-tokyo.ac.jp

²非会員 東京大学 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail:yoshida@ud.t.u-tokyo.ac.jp

³正会員 東京大学 大学院工学系研究科 研究員 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail:ishii@csur.t.u-tokyo.ac.jp

⁴正会員 東京大学 大学院工学系研究科 教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)
E-mail:hanaki@env.t.u-tokyo.ac.jp

効率的なバイオマス循環利用シナリオ提案を目標に、彩の国資源循環工場が立地する埼玉県寄居町及びその周辺地域をモデル地域とし、バイオマスの需給バランス評価及び、資源循環工場の現運転システムに立脚した、様々なバイオマス利用シナリオの二酸化炭素排出量及びコストの評価を実施した。需給バランス評価により、寄居町におけるバイオマス貯存量は、当地域の肥料需要量を十分にまかなえる量となっており、特に畜産系のポテンシャルが高いことが明らかとなった。また、近接地域からのバイオマス収集、及び製品の出荷を行なうことにより、現状に比べ20%以上の高い二酸化炭素削減効果が見積もられた。また特に輸送部門でのコスト削減が大きく示された。

Key Words : biomass, agriculture, recycle, food waste, compost

1. はじめに

平成14年12月、政府は「バイオマス・ニッポン総合戦略」を策定し、バイオマス資源利用を促すための基本的戦略を掲げた。京都議定書が発効し、2008年-2012年の第1約束期間をめざした二酸化炭素の削減が求められている中、バイオマスはカーボンニュートラルであることから、その拡大利用が大いに望まれている。また、一方で循環型社会の形成、および農村の地域活性化に資するとも目されている。

バイオマス・ニッポン総合戦略では、日本全国でのバイオマス貯存量が示されており、日本全国で175千Tcal/yのエネルギーがバイオマスから獲得可能である、といった試算もなされている^{1,2)}。しかしながら、バイオマスエネルギーの利用を実社会に適用するには、全国的な賦存量を俯瞰的に評価するのでは十分であるとはいえない。バイオマス資源をいかに効率良く収集し、配分するかといった、収集・輸送の面における検討が必要になってくると同時に、地域社会に着目し、より狭い範囲での賦存量の実態調査や、収集運搬効率など、地域社会の現実に即したバイオマス利用戦略を考えることが必要な時期に

至っている。バイオマスは薄く広く分布する資源であるため、他の資源と比較して輸送効率が悪く、いかに費用・エネルギー・環境負荷の各面において効率の良い収集・輸送方法を創出できるかが鍵となっている。

そこで、本研究では、地域レベルでのバイオマス需給バランスの評価、及びバイオマスの利用シナリオごとのコスト及び二酸化炭素排出量評価を行なうことによる、地域レベルでのバイオマス利用戦略の提案を目的とした。特にバイオマス利用シナリオでは、既存の研究では無視されていた、収集・運搬に要するコスト及びエネルギー評価に主眼をおいた。対象とする地域には首都圏の後背地として農業もさかんであり、バイオマス製品としてのコンポスト需要も見込める埼玉県を対象地域とした。埼玉県では彩の国有機100倍運動といった、有機物の循環利用を進めつつある。また埼玉県寄居町には、総合的資源循環型モデル施設である彩の国資源循環工場が平成17年より稼働を開始していることから、寄居町を中心とした評価を主に行った。

2. 調査・分析概要

(1) 調査地概要

彩の国資源循環工場は、公共関与による全国初めての総合的「資源循環型モデル施設」であり、県営最終処分場の跡地利用も兼ね、埼玉県が中心となって開発された総合リサイクル施設である。当工場は、①内陸県における廃棄物処分問題の解決、②ゼロエミッションに向けた環境産業の振興、③廃棄物の100%再資源化、といった目標を掲げており、PFI事業によって当施設内に入居する環境関連企業を中心として「環境産業群が相互に連携し、効率的で効果的な資源再生と技術開発に取り組んでいく」としている。入居企業は9社であり、表1に示すような各種リサイクル業務を行なっている。この中で、主にA～C社が有機性廃棄物のリサイクル業務を行なっている。

(2) バイオマス需給バランス評価

バイオマスは、農業系、畜産系、林業系、廃棄物系に分類し、統計データに基づき、表2に示す方法により各バイオマスごとの供給可能量を試算した。一方、バイオマス需要量に関しては、当該地域における肥料需要を代替するとの観点より、寄居町・深谷市・岡部町・川本町における年間肥料販売額及び各地域にて販売実績のある肥料成分及び価格データを、農業協同組合へのヒアリングにより入手した。これに基づき、各地域における年間使用肥料量を算出し、必要となる窒素・リン成分量を算出した。

表-1 彩の国資源循環工場内事業種別

社	事業内容	主な製品
A	生ゴミ、食品リサイクル	コンポスト
B	汚泥、食品リサイクル	コンポスト
C	食品、廃プラリサイクル	固化燃料、コンポスト
D	蛍光管リサイクル	ガラス、金属
E	焼却灰リサイクル	人工砂
F	建築廃棄物リサイクル	アスファルト
G	総合リサイクル	肥料、RDF固形燃料
H	廃プラリサイクル	プラスチック原料ペレット
I	サーマルリサイクル	発電、金属

表-2 バイオマス供給可能量の算定方法

市町村別発生量(t/y)	
農業系	
稲わら	稲収穫量(t/y)×稲わら発生原単位(t/t)
もみ殻	稲収穫量(t/y)×もみ殻発生原単位(t/t)
麦わら	麦収穫量(t/y)×麦わら発生原単位(t/t)
畜産系	
家畜糞尿	家畜飼養頭数(頭羽/y)×糞尿発生原単位(t/頭羽)
林業系	
林産物材	木材比重(t/m ³)×主伐採面積(m ² /年)×林産物材発生原単位(m ³ /ha)
間伐材	【主伐採面積(m ² /年)×埼玉県主伐採面積(m ² /y)×県に対する対象市町村の林野面積割合(m ² /m ²)】 木材比重(t/m ³)×間伐採面積(m ² /年)×間伐材発生原単位(m ³ /ha)
	【間伐採面積(m ² /y)×埼玉県間伐採面積(m ² /y)×県に対する対象市町村の林野面積割合(m ² /m ²)】
廃棄物系	
家庭系	家庭系一般廃棄物排出量(t/y)×家庭系一般廃棄物中の厨芥割合
事業系	事業系一般廃棄物排出量(t/y)×事業系一般廃棄物中の厨芥割合
動植物性残渣	動植物性残渣発生原単位(t/箇所)×食料品・飲料・たばこ・材料製造事業者数(箇所)
廃食用油	廃食用油発生原単位(kg/m ³ ・世帯数)×12(m ³ /y)×世帯数
建築廃材	解体床面積(m ² /y)×解体廃材発生原単位(t/m ²)
	【解体床面積(m ² /y)×埼玉県解体床面積(m ² /y)×埼玉県解体床面積に対する対象市町村の解体床面積発生比率】
木くず	木くず発生量原単位(t/箇所)×木材関連工業事業者数
紙くず	埼玉県紙くず排出量(t/y)×市町村別製造品出荷比率
繊維くず	繊維くず発生量原単位(t/箇所)×繊維工業事業者数(箇所)
尿汚泥	環境省：平成15年度一般廃棄物処理実態調査より
浄化槽汚泥	環境省：平成15年度一般廃棄物処理実態調査より
下水汚泥	日本下水道協会：平成15年度下水道統計より

(3) バイオマス利用戦略シナリオ評価

バイオマスの利用シナリオとして、以下に示すa, bの2シナリオを設定し、評価した。

- 資源循環工場の現有能力に基づく、収集運搬地域の近接エリアへの変更
- 資源循環工場のスケールアップを含めた、埼玉県化学肥料の堆肥転換

現在資源循環工場内にある企業では、遠地からの有機性廃棄物の収集、また、製品であるコンポストに関しても、遠方にての販売を行なっている。これを、より地産地消型に変更した場合の評価をa)では行なった。一方、b)では、最大のポテンシャル評価を念頭に置き、埼玉県全域での化学肥料を、資源循環工場における有機性廃棄物から生産したコンポストで賄う場合を想定する。この場合には、資源循環工場の現有能力は無視し、スケールアップを想定して評価する。

a) では、資源循環工場内にて、現在有機性廃棄物を扱っている、A～Cの3社を対象とし、それぞれについて、現況に対し、近距離輸送シナリオを設けた場合の、二酸化炭素排出量、及びコストの比較評価を行なった。現状での、地域毎の廃棄物搬入量は各企業からのヒアリングによりデータを入手した。本データに基づき、現状の二酸化炭素排出量及びコストを算出する。これに対し、シナリオ評価では、現状と同量の廃棄物を、より近接した市町村より収集運搬した場合の二酸化炭素排出量及びコストを算出した。各区域における賦存量及び需要量単位は市町村単位とし、各区域から資源循環工場までの距離は、MapInfoの「時間距離探索機能」を使用し、実際にトラックが走行する距離を算出した。

b)では、現在埼玉県内で使用している化学肥料を全て資源化工場で生産する堆肥に置き換える場合の二酸化炭素排出量評価を行なった。埼玉県全域で使用される化学肥料製造により排出される二酸化炭素量は、単位成分量及び単位堆肥量当りの二酸化炭素排出量原単位³⁾を用い求めた。コンポスト製造の際排出される二酸化炭素量は、資源循環工場B社のシステムを利用した場合(b-1)及び、厨芥・家畜糞尿等のみを使用(Z社のシステムを利用)した場合(b-2)の2つの方法を用い、比較した。システムの能力制限は無視し、埼玉県全域を賄える能力までのスケールアップした場合を想定した。二酸化炭素排出量の算出は、原料搬入、製品輸送、製造工程、の3段階にの各段階ごとに分けて行なった。製造工程における二酸化炭素排出量の試算には、各企業に対し行ったヒアリングデータを用いた。LC-002におけるシステムバウンダリーは、原料調達、製造、輸送の各プロセスにおける原料、燃料、消耗品等の消費を対象範囲とし、生産・輸送等に

おける設備・機器等の資本財に関わる環境負荷は検討外とした。以下表3に各工程における二酸化炭素排出量などの算定方法をまとめて示した。

3. 結果と考察

(1) バイオマス需給バランス評価

埼玉県162市町村のそれぞれにつき、表2に示した算定方法により、各バイオマスの貯存量を算定した。図1に寄居町における各バイオマス貯存量を、乾燥重量ベースで示した。下水汚泥については、寄居町は荒川上流域関連下水道に所属しており、その終末処理場は埼玉県川本町にあるため、川本町の貯存量として算定し、寄居町における下水汚泥の貯存量は0となっている。寄居町においては畜産系バイオマスが高くなっており、中でも特に豚舎からの供給可能量が高いことがわかる。

表-3 各工程における緒元算出方法

輸送工程	
二酸化炭素排出量＝ [燃料消費量]×[二酸化炭素排出原単位]	二酸化炭素排出原単位は以下を使用 軽油:0.72(kgC/L) ガソリン:0.64(kgC/L)
燃料消費量＝ [年間総走行距離]×[燃費]	燃費は廃棄物輸送業者によるヒアリングにより以下を仮定 トラック:4km/L 乗用車:12km/L
走行距離＝ [地点間走行距離]×2×[往復回数]	地点間走行距離はMapInfoより算出 搬入出地点は各市町村役所位置を代表点とした
往復回数＝ [輸送量]÷[運搬車両の積載量]	運搬車両及び積載量は得難量に応じて以下に仮定 1t未満:乗用車(積載量:0.4t) 1t以上100t未満:4tトラック 100t以上:10tトラック
コスト＝ [燃料消費量]×[燃料代]	燃料代は以下の値を使用した 軽油:105円/L ガソリン:128円/L
製造工程	
二酸化炭素排出量＝ [燃料消費量]×[二酸化炭素排出原単位]	燃料消費量は企業へのヒアリングによるデータを使用 二酸化炭素排出原単位は以下を使用 電力:0.352(kgCO ₂ /kWh) ガス:0.642(kg-C/m ³) 軽油:0.72(kgC/L) 重油:0.77(kgC/L) 灯油:0.69(kgC/L)
コスト	各企業によるヒアリングによりデータを取得

年間発生量 [Dt/y]

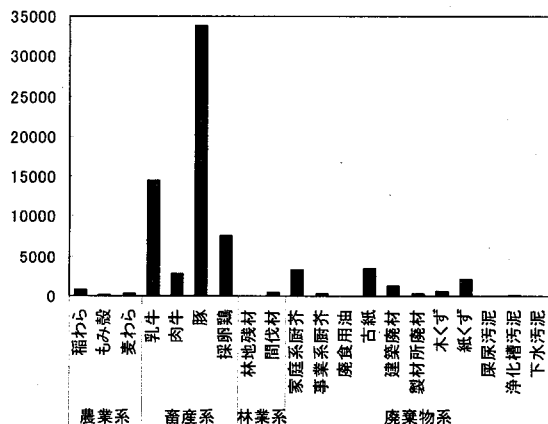


図-1 寄居町バイオマス貯存量

図2に埼玉県全域での算定結果における、各バイオマスの割合を示した。埼玉県全域の結果においても、同様に畜産系の貯存量が高いことがわかる。

バイオマス需要量は、2. (2)に示した方法により、窒素、リン、カリの各成分ごとの需要量を、各市町村ごとに算出した。図3に各市町村ごとの需要量を示した。各成分ごとの需要量の大小傾向は概ね等しくなっていたことから、寄居町における窒素需給バランスを算定した。

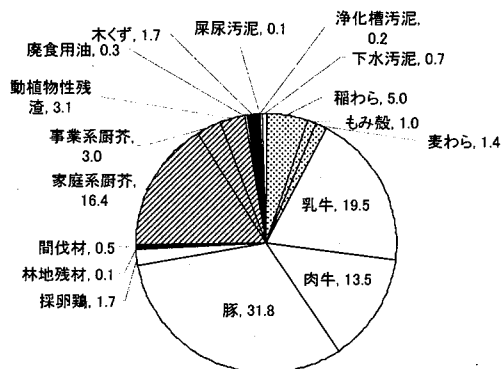
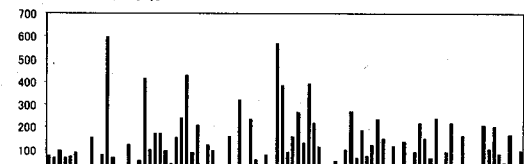
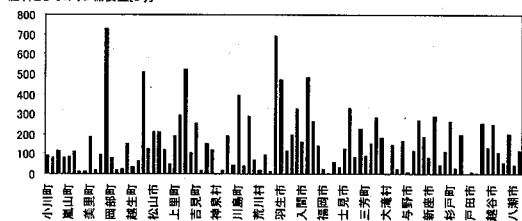


図-2 埼玉県全域における各バイオマス貯存割合
数値は[%]を示す。全体バイオマス量は540万[Dt/y]

肥料としての窒素需要量[t/y]



肥料としてのリン需要量[t/y]



肥料としてのカリ需要量[t/y]

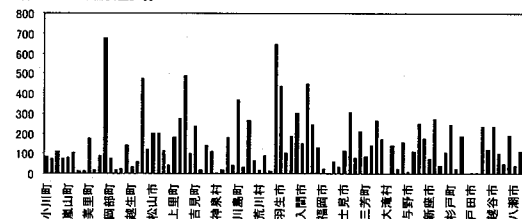


図-3 埼玉県各市町村における肥料成分需要量
市町村は左より資源循環工場に近接なものを示す
(全ての市町村名は示していない)

寄居町における窒素需要量は年間67 t_yと算出された。図1に示した各バイオマス内、豚糞由来のバイオマスに、豚糞中の窒素含有率として3%を仮定し、これに乗じると、1014 t_yとなり、窒素の需給のみで見た場合には、供給可能量が十分に需要量を上回っていると考えられた。

(2) シナリオ評価

a) 収集運搬地域の近接エリアへの変更シナリオ

資源循環工場内にてバイオマスのリサイクルを行っている企業（A～C社）に焦点を当て、各企業の廃棄物搬入及び製品搬出において、今後どの程度効率化する余地があるのかを検証した。効率化の評価項目は主に二酸化炭素排出量とコストであり、輸送の最適化を行うことによる二酸化炭素を削減の余地を評価した。その際、工場の能力は現状のままと設定した。

図4に各企業ごとの現状に対し、近接収集運搬シナリオを用いた場合の二酸化炭素削減、及びコスト削減割合を示した。いずれの企業においても、二酸化炭素・コスト共に現状に比べ、半分以下へと大幅な削減が期待できることがわかる。A社では、現在収集に1740 kg_y、製品輸送に440 kg_y 排出されている二酸化炭素が、それぞれ、282 kg_y、39 kg_y となり、総量では90%もの二酸化炭素削減が見込まれる。また、製造部門でのエネルギー消費データの入手が可能であったC社において、製造工程も含め、計算を行なうと、輸送部門での二酸化炭素量は現状にて3790 kg_{Cy}、製造工程は12300 kg_yとなり、シナリオ実施により輸送部門での二酸化炭素量削減が達成され、製

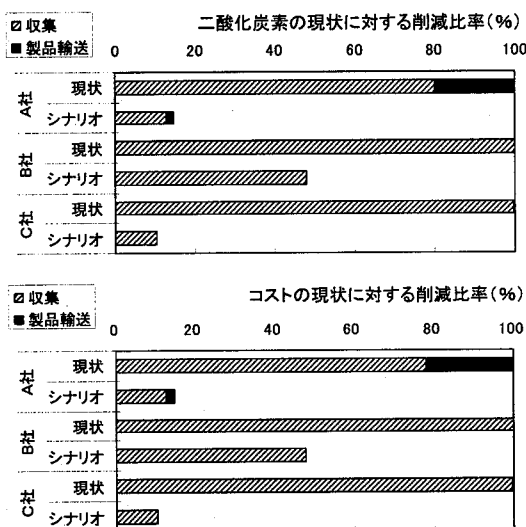


図-4 近接収集運搬シナリオによる輸送部門での二酸化炭素削減及びコスト削減効果（但しB社は稼働開始後間が無いため収集のみを評価）

造工程は変化しないものとする、総量での、削減率は21%と見積もられる。一方コストにおいては特に製造工程にかかる費用が大きいことから、製造工程を含めた場合のC社でのコスト削減率は12%程度に留まった。

b) 埼玉県化学肥料の堆肥転換シナリオ

2(1)における埼玉県での総肥料需要量に基づき、現在の化学肥料を全て有機廃棄物から製造したコンポストに置き換えた場合の評価を行なった。シナリオb-1では現在資源循環工場内のB社に搬入される有機性バイオマス組成に基づき、評価した。一方、埼玉県においては家畜糞尿や厨芥バイオマス貯存量が大きいことから、シナリオb-2では、家畜糞尿、厨芥、動植物性残渣、下水・浄化槽・尿尿汚泥を用いて堆肥化を行なった場合の評価を行なった。但し、現在資源循環工場内に家畜糞尿により堆肥製造を行なっている企業が存在しないことから、堆肥化プロセスのデータは、Z社のものを用いて評価した。

2(1)における算定により、埼玉県内における化学肥料の需要は窒素、リンそれぞれ11,322 t_y、13,784 t_yであり、これをB社のシステムで全て賄うとすると（シナリオb-1）、窒素換算で452,880 t_y、リン換算で293,276 t_yの堆肥製造が必要になる。現在のB社堆肥製造工場能力がおおよそ15,000 t_yであることから、同工場のおよそ30基（リン換算ではおよそ20基）分の堆肥化工場が必要ということとなる。家畜糞尿のみを用いて堆肥を製造する場合については（b-2）、当企業の堆肥成分（N1.48%、P1.03%）を用いることにより、窒素需要を満たす場合には、堆肥としての需要量は765,000 t_yと算出される。B社、Z社それぞれにつき、堆肥製造に要する廃棄物搬入量を算出し、それに伴う二酸化炭素排出量及びコストを算出した。結果を表4及び図5に示す。

現状の化学肥料使用システムでは89300 t_yの二酸化炭素が排出されているのに対し、その全量を有機性バイオマスからのコンポストにより置換することで、4万t_y～7万t_yの二酸化炭素削減に繋がることがわかる。図5に示したように、主に製造工程での二酸化炭素削減効果の影響が大きく、製造工程はb-1では現状から92%減、b-2では52%の減少となっている。

4. 結論

埼玉県寄居町に位置する彩の国資源循環工場を中心に、埼玉県でのバイオマス需給バランス評価および、利用戦略シナリオの二酸化炭素排出量及びコストの面からの評価を行なった。需給バランス評価では、肥料成分の需要分の需要を満たす十分なバイオマス貯存量が存在するこ

表-4 肥料転換シナリオによる二酸化炭素排出量

二酸化炭素排出量 [$\times 10^3$ t-C/y]	
現状	
原料輸送	5.3
製造工程	77.2
製品輸送	6.8
計	89.3
b-1:B社システムデータ使用	
原料輸送	
動植物性残渣	2.1
尿尿・浄化槽・下水汚泥	6.3
製造工程	5.9
製品輸送	2.0
計	16.3
b-2:Z社システムデータ使用	
原料輸送	
家畜糞尿	1.6
動植物性残渣	0.7
尿尿・浄化槽・下水汚泥	0.8
厨芥	1.8
製造工程	37.4
製品輸送	3.4
計	45.7

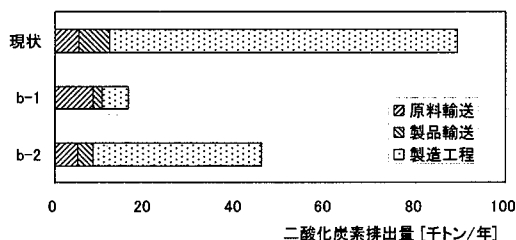


図-5 肥料転換シナリオに伴う各部門の二酸化炭素排出量変化

とがわかった。中でも、埼玉県においては特に畜産系バイオマスの有効利用が望まれると考えられた。また、より近接地から原料を収集し、また製品出荷を行うこと、さらに、化学肥料からのコンポスト化への転換を行なうことにより数十%オーダーでの二酸化炭素削減ポテンシャルがあることが示された。今後は、各バイオマスからのコンポスト製造効率や、製品の肥料としての質の評価といった詳細解析を行なうことにより、より実態に即した形での評価を行なうことが可能になると考えられる。

謝辞：本研究は、農林水産省 先端技術を活用した農林水産研究高度化事業研究「都市系食品バイオマスの資源化・リサイクル促進戦略」により行なわれた。また調査にご協力頂いた彩の国資源循環工場内の各企業の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小宮山宏, 松村幸彦, 迫田章義: バイオマス・ニッポンー日本再生に向けて, 日刊工業新聞社, 2003.
- 2) 南英治, 坂志朗: 我が国におけるバイオマス資源の発生量と利用可能量の推定, エネルギー・資源, Vol.23, No.3, pp.58-62, 2002.
- 3) 小林久, 佐合隆一: 窒素およびリン肥料の製造・流通段階のライフサイクルにわたるエネルギー消費量と CO₂ 排出量の試算, 農作業研究 36 (3), 2001.
- 4) 小林久: 窒素投入に関するエネルギー消費・CO₂ 排出のライフサイクル分析, 農業土木学会論文集, 66(2), pp.51-57, 1994.

BIOMASS USAGE POTENTIAL IN YORII AS CASE STUDY

Kiyo Hasegawa-KURISU, Taku YOSHIDA, Akira ISHII and Keisuke HANAKI

Case study was conducted in order to construct the effective biomass usage system in Saitama prefecture. Yorii was used as the case study place, because it has a new recycling facility consisting of nine manufactures. The balance between the biomass supply and the demand, and carbon dioxide emission and cost among the several senarios were evaluated. It was revealed that the potential supply of biomass is enough for covering fertilizer demand in Saitama. It was also indicated that above 20% of carbon dioxide emission could be cut, when the biomass is collected from the neighbor areas.