

特集「第8回日本LCA学会研究発表会からの投稿」

研究論文(Research Article)

バイオマスプラント建設のGHG排出量推計に向けた
産業連関表の実用的な利用兵法 彩^{1,*}・本藤 祐樹¹・工藤 祐揮^{1,2}

Practical Use of Input-output Tables to Estimate GHG Emissions from Biomass Plant Construction

Aya HEIHO^{1,*}, Hiroki HONDO¹ and Yuki KUDOH^{1,2}

Synopsis:

Objective and Method. The implementation of biomass projects requires sufficient assessment of environmental impacts based on life cycle thinking. Since inventory analysis, in particular for plant construction, is labor-intensive, the development of a practical method that needs little manpower is required. The objective of the present study is to explore an effective method to estimate greenhouse gas (GHG) emissions from biomass plant construction. GHG emissions for two existing biomass plants in Japan are estimated with the following three methods: a bottom-up method using material data and two input-output (IO) methods using detailed and its aggregated cost data. The three methods are assessed from three aspects, namely, the accuracy of estimated values of GHG emissions from plant construction, the manpower for inventory analysis and the influences of the estimated value on life cycle GHG emissions.

Results and Discussion. First, in terms of GHG emissions from plant construction, the estimated value of the bottom-up method was approximately 50% smaller than that of the IO method using detailed cost data. On the other hand, both the bottom-up and IO methods required large manpower for the GHG estimation. Second, the estimated value of the IO method using aggregated cost data was approximately 20% smaller than that of the IO method using detailed cost data. When the aggregated cost data was used, less manpower was required for the GHG estimation compared to the detailed cost data. Third, the influences of the differences between the two IO methods on life cycle GHG estimation were assessed. Although the manpower for the two IO methods were different as mentioned above, a significant difference in the influences on life cycle GHG estimation was not observed.

Conclusions. The results show that, from a practical viewpoint, the IO method using aggregated cost data is effective to estimate GHG emissions associated with biomass plant construction. Future studies are required to develop a practical method using IO tables to assess various environmental and socio-economic impacts of biomass projects based on a life cycle approach.

Keywords: Biomass project; GHG emissions; input-output table; life cycle inventory; plant construction

1. はじめに

バイオマスは、持続的に再生可能な資源として、世界各国でその利用が進んでいる。日本では、地球温暖化の防止、循環型社会の形成、地域活性化などを目的として、各地域で推進計画の策定およびバイオマス事業の導入が実施されている¹⁾。また、2020年を目途に47都道府県および全国

の3分の1に相当する600市町村での計画策定を目標として掲げている²⁾ことから、今後も地域レベルのバイオマス事業の導入が進む見込みである。しかし、総務省が2011年に公表したバイオマスの利活用に関する政策評価書³⁾では、各地域の計画・取組において十分な効果が得られていない可能性が指摘されている。

1 横浜国立大学 / 〒 240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

2 独立行政法人 産業技術総合研究所 / 〒 305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1

1 Yokohama National University / 79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, Kanagawa 240-8501

2 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology / 16-1 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8569

* 連絡先 (Corresponding author), heiho-aya-gm@ynu.jp

バイオマス利活用は、その利用段階だけみれば地域の化石燃料資源であるため、環境・社会経済面ともに良い効果が期待されるが、利用に至るまでの前段階である原料調達段階や、バイオマス変換工程で生じる各種影響も考慮する必要がある。つまり、地域バイオマス事業の実施による十分な効果を得るためには、バイオマス利活用のライフサイクル全体を通じた評価実施が重要となる。そのためには、ライフサイクルアセスメント（以下、LCAとする）の実務経験がない事業者でもバイオマス利活用の全プロセスを網羅して適切に評価できる実用的な手法の確立が必要である。

バイオマス利活用システムのように、多くのプロセスから成るシステムをライフサイクル思考に基づき網羅的に推計する場合には、詳細に推計するプロセスと簡易に推計するプロセスを合理的に選別し、適した推計方法を選択するのが実用的である。推計の確からしさを犠牲にしてはならないが、過度に多大な時間や労力が必要とされる推計方法は実用性に乏しい。本稿では、プロセス内のデータ収集が煩雑で、インベントリ分析に時間と手間を要する変換工程のプラント建設に伴う温室効果ガス（以下、GHGとする）排出量に着目し、推計方法に関する基礎分析を行う。プラント建設に伴うGHG排出量（以下、プラントGHG排出量とする）とは、設備機器の製造と建屋建設に伴うGHG排出量を指している。

これまで、バイオマス事業のLCAでは、プラントGHG排出量がライフサイクル評価に与える影響はそれほど大きくないと考えられており、推計範囲に含まれない場合が多い。含まれる場合でも、数多くのプロセスの一つとして簡易に求められていることがほとんどである。例えば、ブラジルのバイオエタノールのLCAでは、敷地面積と製品重量をデータとして用い、それらに対応する排出係数を文献から引用して推計している⁴⁾。日本では、比較的大まかな建設費用を用いて産業連関法で推計する方法が提案されている^{5,6)}。また、環境省が公表しているバイオマス利活用のLCAに関するガイドライン^{7,8)}では、プラントGHG排出量の推計は、事業者への負担が大きいことが想定されることを理由として、産業連関法の適用で簡易に推計する方法が記されている。

一般的な建築物のLCAでは、煩雑なプロセスのインベントリ分析を実践的に行う手法として、主要な資材やリサイクル材の製造プロセスは積み上げ法で推計し、その他の構成素材や施工・組立工事は産業連関法を用いる推計方法の提案がされている⁹⁻¹¹⁾。同様に、一般的な設備機器のLCAでも全てのデータ収集が困難であることから、結果に影響を及ぼすプロセスは積み上げ法で推計し、他のプロセスは産業連関法で補完的に推計する手法の提案¹²⁾や、

産業連関法で得られる結果を基準として、機器重量から簡易に推計するための関係式の導出¹³⁾が行われている。

このように、すべてのデータ収集が難しくインベントリ分析に時間と手間を要し、推計結果に大きく影響しないと考えられる場合には、公の統計データを用いる産業連関法の活用が行われてきた。しかし、いずれの研究でも産業連関法で得られた結果の妥当性については言及されているが、積み上げ法に比べ産業連関法がどの程度実用的か、すなわち作業量がどれほど異なるかについては、定量的には示されていない。

バイオマス事業のプラントGHG排出量に関しては、そもそも推計範囲に含める必要があるかどうかについて十分に検討されておらず、あるとすれば簡易に推計することが適切な選択であるかどうかについても、十分に議論されていない。そこで本稿は、バイオマス事業のプラントGHG排出量の推計方法を、得られる結果の妥当性と作業負荷量の観点から比較し、各手法で得られる結果の留意点を明らかにしたうえで推計に有効な選択肢を示すことを目的とする。

2. 研究方法

後述する2種のバイオマス事業の運用事業者（以下、事業者とする）から、プラント建設関連のデータを入手し、プラントGHG排出量を推計する。一般的なインベントリ分析手法としては、積み上げ法、産業連関法、ハイブリッド法の3つが挙げられる。本稿では、LCAの実務経験がない事業者が推計作業を行うことを想定し、3つの手法の中でも、より基礎的である物量データを用いる積み上げ法と金額データを用いる産業連関法を選択する。なお、産業連関法は金額データの詳細さが異なる2通りの方法で行う。

これら3種類の推計方法を、1) 推計されたプラントGHG排出量、2) 推計に要する作業負荷量、3) プラントGHG排出量が事業全体のライフサイクルGHG排出量に与える影響、という3つの観点から比較することで、各手法で得られる結果の留意点を明らかにし、総合的に見て推計に有効な選択肢を示す。以下に、3つの観点について記述する。

2.1 プラント建設に伴うGHG排出量

プラントGHG排出量 E [t-CO₂e.q.]は、各種データ A_i [unit]にGHG排出係数 EF_i [t-CO₂e.q./unit]を乗じ積算して推計する(1)。推計に用いる各種データ数や使用した排出係数の数が多い推計方法は、得られた結果から排出要因の特定ができるなど、実態を反映した詳細な分析が行える。以下に、各手法に用いたデータと排出係数についてまとめる。

$$E = \sum_{i=1}^n A_i \times EF_i \quad (1)$$

2.1.1 積み上げ法

積み上げ法では、 A_i [unit] として物量データを、 EF_i [t-CO₂eq./unit] としてLCAソフトウェアMiLCA¹⁴⁾を参考に作成した排出係数を用いる。物量データに相当するのは、建設に必要な資材・設備に関する生コンクリート [m³] や鉄筋 [t]、鉄骨 [t]、舗装ブロック [t]、建具 [m²] などの資材量や設備機器の重量 [t]、施工・設置工事に使用する軽油 [L] などの燃料消費量である。

排出係数は、MiLCAのインベントリデータベースIDEAからCO₂、CH₄、N₂Oの単位排出量を入手し、GWP₁₀₀¹⁵⁾を用いてCO₂換算した合計値を用いている。

2.1.2 産業連関法

産業連関法では、 A_i [unit] として金額データを、 EF_i [t-CO₂eq./unit] として国立環境研究所が公表している産業連関表による環境負荷原単位 (3EID)¹⁶⁾を用いる。金額データは、プラントの建設費 [円] を用いる。排出係数は、3EIDの2005年産業連関表 (基本分類表、生産者価格表) に基づく、 $(I-A)^{-1}$ 型のGHG排出係数を用いている。本稿では、建設費の内訳の詳細さが異なる金額データを用いて2通りの産業連関法を利用しており、それぞれを簡略IO法、詳細IO法と呼ぶ。

簡略IO法は、建設費を土木費と設備費の2つに大きく分けて、2項目の金額データから推計する。土木費は建屋建設費や外構工事費などを主たる費用として含んでいるため、産業連関表のその他の土木建設部門の排出係数を対応させる。設備費は、バイオマス事業で使用されている設備の多くが、反応槽や熱交換器などの化学機械であるため、産業連関表の化学機械部門の排出係数を対応させている。

詳細IO法は、建設費の最も詳細な記述である工事積算書の明細項目を金額データとして用いて推計する。明細項目は1,000項目以上からなる金額データであり、各項目に対応させる排出係数は、1項目ずつ該当する部門を検討して決定する。

2.2 推計に要する作業負荷量

プラントGHG排出量の推計に要する作業負荷量 WL [人・時間] は、作業手順を①データ入手・作成と②GHG排出量の計算の2段階として、推計方法毎に設定した作業基準 s_j [項目/人・時間]に基づいて推計する (2)、(3)。ここでは、バイオマス事業の実施者が通常の業務と並行して推計作業を行うことを想定しており、推計作業者のLCAのスキルはLCAについての知見を有しているが、実際には行ったことがない程度と考えている。

WL_j [人・時間] は、作業手順 j の工数であり、推計に用いる各種データの数 n [項目] を s_j で除すことで算出する。

表1 作業基準

単位：項目/人・時間

	積み上げ法	産業連関法
データ入手・作成 (s_1)	12	70
GHG排出量の計算 (s_2)	18	35

s_j は作業手順 j において、1人が1時間で作業可能な各種データ数である。 s_j は作業者のスキルによって異なる可能性があるが、本稿では一例として実際に作業に取り組んだ3名 (事業者、筆者、事業者レベルのスキルを有する学生) の実績に基づいて、表1のように設定した。なお WL_j に関しては、小数点以下の精度は無いと考えられるので、小数点以下を切り上げ、整数で推定する。以下に、各推計方法の作業手順について記す。

$$WL_j = \frac{n}{s_j} \quad (2)$$

$$WL = \sum_{j=1}^2 WL_j \quad (3)$$

2.2.1 積み上げ法

積み上げ法で用いる物量データは、まず事業者が管理している資料から作成される。作業手順①は、事業者が管理している資料を基に、物量に相当する項目を抽出し、Excelに入力する作業であり、 s_1 は12[項目/人・時間]としている。資料から物量データを抽出するとき、全くデータ整備がされていない場合には、5～10cmファイルを5冊程度参照する作業が生じる。なお、資料は事業者が管理しているものであり、手元にあるので、資料入手の時間はゼロとしている。

作業手順②は、物量データをIDEAのデータ項目に対応させる作業であり、 s_2 は18[項目/人・時間]としている。上述した資料から得られる物量データには、素材重量やエネルギー消費量の他に、製品数量が含まれている。本稿では、その製品に直接対応する排出係数が得られない場合には、その製品を構成する素材の排出係数を用いてGHG排出量を推計している^{脚注1)}。例えば、IDEAに窓の排出係数がないとき、構成素材であるアルミニウムとガラスの排出係数を使用してGHG排出量を推計する。製品を構成している素材とその量については、型番等に基づき製品情報から決定している。ただし、特定の製品に関する構成素材量が得られない場合には、Webから入手した汎用品のデータを用いている。

脚注1) 積み上げ法による製品のGHG排出量の推計方法としては、IDEAの製品項目にすべて対応させる方法などもある。採用する方法によって製品レベルでの推計値には差が出るが、全体としての推計結果に与える影響は小さいと考えられる。

基本的には、上述した2段階の作業で推計を行っていくが、積み上げ法の場合、管理している資料のみでは必要な物量データを入手できないことがある。その場合には、工事施工業者や製品の製造事業者への問い合わせが必要となる。追加データ入手のために、事業者以外への問い合わせを行った場合には、資料入手までに2～4週間の時間を要する可能性があることがわかっている。

2.2.2 産業関連法

産業関連法は、 s_1 を70[項目/人・時間]、 s_2 を35[項目/人・時間]、としている。手法毎の作業内容を以下に記述する。

詳細IO法の作業手順①は、建設費の内訳明細がわかる紙ベースの資料を入手し、費用項目をExcelに入力する作業である。事業者自身が建設費の資料を入手する時間については、積み上げ法と同様にゼロとしている。建設費は電子データで取得可能な場合もあり得るが、今回は紙での取得を想定している。作業手順②は、各費用項目が403部門から成る産業関連表の基本分類でどこに該当するかを調べ、対応する排出係数を決定する作業となる。この作業は、産業関連表総合解説編¹⁷⁾や日本標準産業分類¹⁸⁾、工業統計調査¹⁹⁾等を参考資料にして1項目ずつ行う。

簡略IO法の作業手順①は、建設費を土木費と設備費の2項目に分類することを指している。作業手順②は、土木費と設備費がそれぞれ産業関連表のどの部門に対応するかを決める作業であるが、簡略IO法では機械的に、土木費はその他の土木建設部門、設備費は化学機械部門に対応させる。

2.3 プラント建設に伴う GHG排出量がライフサイクル GHG排出量に与える影響

本稿では、プラントGHG排出量がライフサイクルGHG(以下、LC-GHGとする)排出量に与える影響を、プラントGHG排出量が事業実施前後の変化量 ΔE [t-CO₂eq.]に占める割合で評価する。

バイオマス事業実施がもたらす影響を的確に分析するために、事業実施前後の機能を同一にした2つのシステムを設定し、事業実施前のLC-GHG排出量 E_{before} [t-CO₂eq.]と事業実施後のLC-GHG排出量 E_{after} [t-CO₂eq.]をそれぞれ推計し、その差分からGHG削減効果 R [t-CO₂eq.]を推計する(4)。このとき事業の実施期間は、プラントの耐用年数である15年とする。

$$R = E_{before} - E_{after} \quad (4)$$

図1にバイオマス事業実施前後の2つのシステム設定例を示した。機能単位は、ある製品の生産量や消費量とする。バイオマス事業実施前(図1上図)は、ある製品の生産に原料とエネルギーが投入され、生産された製品を消費している。このとき、ある製品の生産・消費に伴うGHG排出量の合計が、 E_{before} である(5)。

$$E_{before} = \sum_{k=1}^m E_k \quad (5)$$

E_k [t-CO₂eq.]は、プロセス k のGHG排出量であり、図1では事業実施前のプロセスは原料製造、エネルギー製造、製品生産、消費の4つのプロセスから成るため、 $m=4$ である。

他方、バイオマス事業実施後(図1下図)は、ある製品に投入される原料やエネルギーをバイオマスで代替するシ

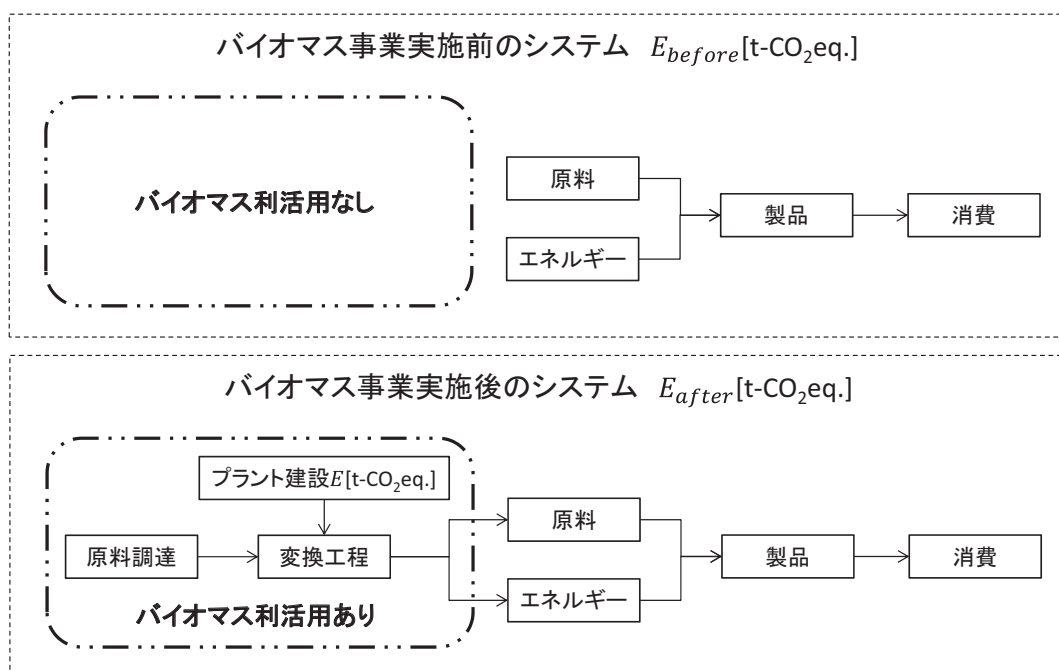


図1 バイオマス事業実施前後のシステム設定(例)

システムとなる。バイオマスを製品の原料やエネルギーの資源として利用する場合には、そのバイオマスを調達（原料調達）し利用形態へ変換（変換工程）することが必要となる。このように、ある製品の原料やエネルギーの資源としてバイオマスを利用し、製品を生産・消費する際に生じるGHG排出量の合計が、 E_{after} となる(6)。

$$E_{after} = \sum_{k=1}^{m'} E'_k \quad (6)$$

E'_k [t-CO₂eq.] は、プロセス k のGHG排出量であり、図1では事業実施後のプロセスは原料製造、エネルギー製造、製品生産、消費、原料調達、変換工程、プラント建設の7つのプロセスから成るため、 $m' = 7$ である。

事業実施前後の変化量 ΔE [t-CO₂eq.] は、事業実施前後で対応するプロセスのGHG排出量の差分から算出する(7)。ただし、事業実施前後で対応するプロセスがない場合には、そのプロセスの排出量をゼロとして差分を算出する。式7の l は、事業実施前後のプロセスの重複しているプロセスを除いて合計した数値となる。図1の場合は、 $m = 4$ 、 $m' = 7$ 、で重複しているプロセスが4つなので、 $l = 7$ となる。

$$\Delta E = \sum_{k=1}^l |E_k - E'_k| \quad (7)$$

プラントGHG排出量がLC-GHG排出量に与える影響は、式(8)に示されるように、プラントGHG排出量(E)が変化量 ΔE に占める割合で評価する。

$$\text{プラント GHG 排出量が LC-GHG 排出量に与える影響} = \frac{E}{\Delta E} \quad (8)$$

3. 対象事例

本稿で用いた2種の事例は、沖縄県宮古島の廃糖蜜(モラセス)を用いたバイオエタノール生産事業と、神奈川県三浦市の廃棄物系バイオマスの利用および再資源化事業である。以下に、各事例について記述する。

3.1 事例1 沖縄県宮古島のバイオエタノール生産事業

このプロジェクトでは、基幹産業であるサトウキビ農業を持続可能とすること、島嶼エネルギーの確保、地球温暖化防止への貢献などを目的とした地産地消型の循環社会システムの構築²⁰⁾を目指している。具体的には、サトウキビ製糖後のモラセスを原料として、バイオエタノールを製造し、ガソリンと混合したE3燃料の島内利用(全島E3化)を計画している。

3.1.1 推計対象プラント

この事例の推計対象は、このプロジェクトの実施に伴って新設したエタノール製造プラントである。敷地面積は8,500m²で、延床面積は1,560m²である。無水エタノールの生産能力が4[kL/日]の製造設備を有している。エタノール製造設備は、培養・発酵・蒸留・濃縮・脱水設備から成り、これらの設備は鉄骨構造の建屋内にある。

製造設備の他には、屋外タンク10基から成る貯蔵設備、用役設備、排水処理設備が施設内に設置されている。また、全ての設備は中央監視コンピュータによって一括管理されており、この設備は建屋内に中央監視コンピュータ室として位置している。この他に、同敷地内に実証設備である有価物回収設備と実験室があるが、これらはエタノール製造事業本体とは直接関係しないことから、今回の推計の範囲外としている。

3.1.2 バイオマス事業実施前後のシステム設定

図2に事例1の機能単位とシステムの設定を示した。システムの設定とプラントGHG排出量以外の推計値は先行研究⁵⁾に従っている。具体的な推計値については第4章で示す。

バイオマス事業実施前(図2左図)は、サトウキビから砂糖の原料となる粗糖を生産し、その副産物であるモラセ

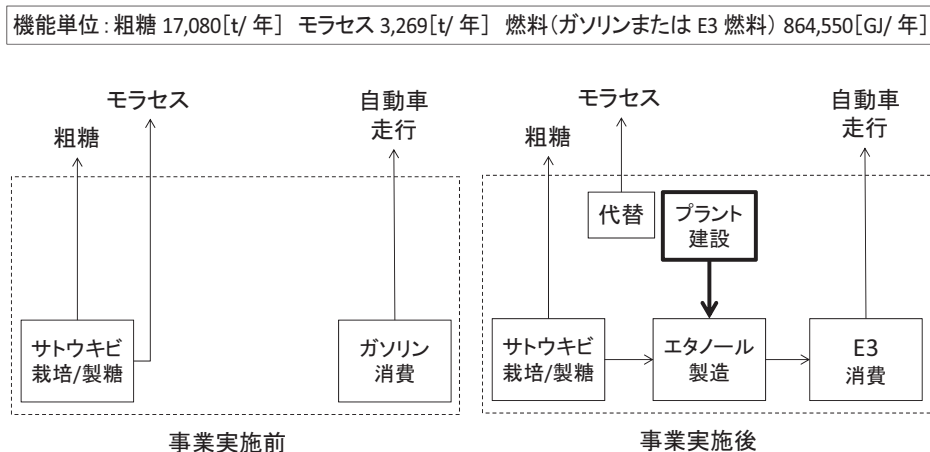


図2 沖縄県宮古島のバイオマス事業実施前後のシステム設定

スを島外で家畜飼料等に利用している。このとき、自動車走行にはガソリンのみを使用している。

バイオマス事業実施後（図2右図）は、製糖副産物のモラセスをバイオエタノールの原料として使用し、製造したエタノールとガソリンを3対97の割合で混合してE3燃料を製造し自動車走行の燃料として使用する。

なお、バイオマス事業実施後のシステムでは、モラセスをエタノール製造に充てるため、島外輸送に充てるモラセス分の生産・輸送を代替プロセスで補てんとすると仮定し機能単位を同一にしている。

3.2 事例2 神奈川県三浦市の廃棄物系バイオマス再資源化事業

この事業は、バイオマス利活用実施前まで個別に処理が行われていた市内で発生する廃棄物を、新設した処理施設で回収・処理する取り組みである²¹⁾。回収対象としている廃棄物は、農作物残渣、水産物残渣、し尿・浄化槽汚泥、下水汚泥である。これらの廃棄物を原料として、嫌気性消化でバイオガスを生成し、嫌気性消化の残渣から肥料を生産する。

3.2.1 推計対象プラント

この事例の推計対象プラントは、新設された廃棄物処理施設（三浦バイオマスセンター、以下、MBCとする）である。この施設には、バイオガス生成利用設備と肥料生産設備が含まれる。敷地面積は11,450m²で、延床面積は3,000m²である。施設には3つの建屋があり、それぞれ管理棟・処理棟・堆肥棟となっている。建屋内および敷地内には、各種残渣・汚泥の受入設備、前処理設備、メタン発

酵設備、バイオガス利用設備、固液分離設備、水処理設備、堆肥化設備がある。

計画処理量は、し尿・浄化槽汚泥が60～65[kL/日]、農作物残渣が約20[t/日]、水産物残渣が約0.5[t/日]、公共下水道汚泥が約4～6[t/日]である。計画処理量に対し、計画発生ガス量は約1,000[Nm³/日]（メタン濃度約60%）である。

3.2.2 バイオマス事業実施前後のシステム設定

図3に事例2の機能単位とシステムの設定を示した。システムの設定とプラントGHG排出量以外の推計値は、先行研究⁶⁾に従っている。具体的な推計値については第4章で示す。

バイオマス事業実施前（図3左図）は、各種残渣・汚泥が個別に処理されていた。農業残渣は市内の共同保管場で残置処理されていた。水産物残渣は、埼玉県まで輸送し飼料化されていた。し尿・浄化槽汚泥は、三浦市内の衛生センターで収集・処理され、脱水汚泥は市内埋立地に処分されていた。下水汚泥は、栃木県まで輸送し肥料化されていた。

バイオマス事業実施後（図3右図）は、各種残渣・汚泥を収集しMBCで処理することで、バイオガスの生成・利用と肥料生産が行われている。バイオガスはMBCでエネルギーとして利用し、肥料は市内農家に頒布されている。

なお、バイオマス事業実施前後で、飼料生産量と肥料生産量が異なる。そのため、事業実施前システムでは不足している肥料生産量分を、代替プロセスで補てんと仮定している。また、事業実施後のシステムでは、不足している飼料生産量分を代替プロセスで補てんと仮定し、両システムの機能単位を同一にしている。

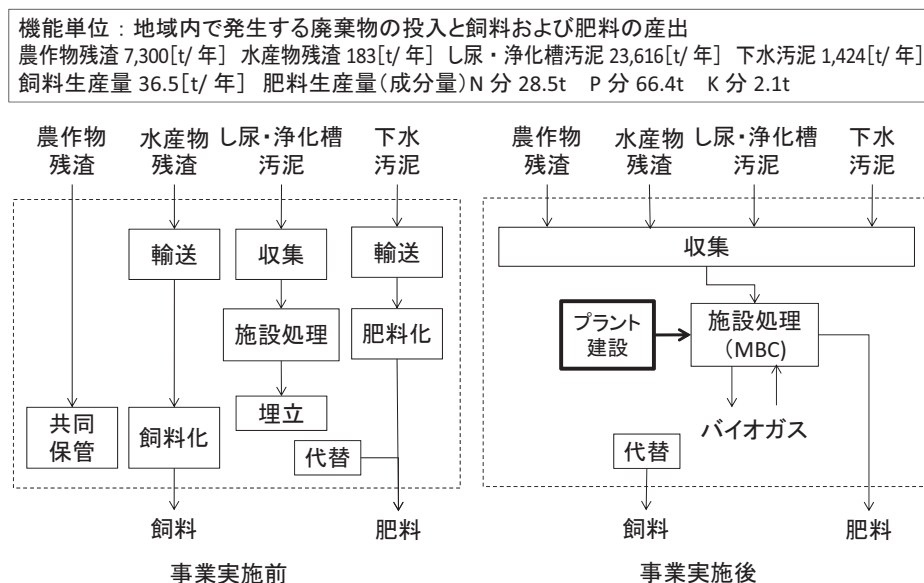


図3 神奈川県三浦市のバイオマス事業実施前後のシステム設定

4. 結果と考察

表2にプラントGHG排出量をまとめた。データ項目〔項目〕は、入手した物量データの項目数または、金額データの項目数を意味している。また、排出係数〔項目, 部門〕は、各種データに対し使用した排出係数の項目数または部門数を意味している。また、表3にプラントGHG排出量の推計に要した作業負荷量WL〔人・時間〕をまとめた。

4.1 積み上げ法と詳細IO法の比較

本節では、積み上げ法と詳細IO法を比較し、データ入手可能性や推計結果の網羅性、推計手法の実用性について考察を行う。

4.1.1 プラント建設に伴うGHG排出量の差異

プラントGHG排出量は、詳細IO法が積み上げ法の1.91倍となった(表2)。以下では、両者の差異について考察する。

まず、図4に積み上げ法の推計結果と、詳細IO法で得られた結果のうち素材部門由来のGHG排出量との比較を示した。産業連関法の素材部門は、産業連関表の統合大分

類34部門の7部門(鋳業、パルプ・紙・木製品、化学製品、石油・石炭製品、窯業・土石製品、鉄鋼、非鉄金属)に該当する94部門としている¹⁷⁾。これらは積み上げ法で用いた物量データの収集が、比較的实施できた範囲に相当する。物量データが入手できた範囲は、建屋建設に投入されている資材量や燃料使用量、設備機器の主要構成素材(鉄、ステンレス、アルミなど)の重量である。両者を比較すると、素材部門に由来するGHG排出量は積み上げ法の1.14倍(事例1)、1.16倍(事例2)であった。つまり、推計範囲が同じであれば同程度の結果が得られることが示唆される。

次に、図5にE[t-CO₂eq.]の内訳を土木と設備で示した。土木は、敷地内の土地造成工事や建屋建設に伴うGHG排出量であり、設備は、設備機器の製造や設置工事に伴うGHG排出量である。このとき、土木由来のGHG排出量は、詳細IO法が積み上げ法の1.16倍(事例1)、1.44倍(事例2)、設備由来のGHG排出量は2.96倍(事例1)、3.86倍(事例2)となった。

設備由来のGHG排出量の推計差は、土木由来のGHG排出量の推計差に比べ大きい。これは、設備由来のGHG排出量の推計に十分な物量データが入手できていないことが

表2 プラント建設に伴うGHG排出量

	事例1 エタノール製造プラント					事例2 廃棄物処理施設				
	データ項目 〔項目〕	排出係数 〔項目, 部門〕	GHG排出量 〔t-CO ₂ eq.〕	相対比率		データ項目 〔項目〕	排出係数 〔項目, 部門〕	GHG排出量 〔t-CO ₂ eq.〕	相対比率	
積み上げ法	1,180	49	3,203	1.00	—	967	30	3,835	1.00	—
詳細IO法	3,086	64	6,109	1.91	1.00	2,171	59	7,310	1.91	1.00
簡略IO法	2	2	4,724	1.47	0.77	2	2	5,774	1.51	0.79

表3 プラントGHG排出量の推計に要した作業負荷量

単位：人・時間

	事例1 エタノール製造プラント			事例2 廃棄物処理施設		
	WL ₁	WL ₂	WL	WL ₁	WL ₂	WL
積み上げ法	99	66	165	81	54	135
詳細IO法	45	89	134	32	63	95
簡略IO法	1	1	2	1	1	2

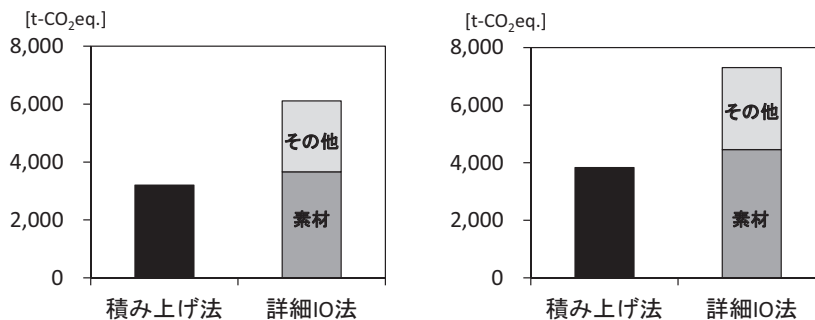


図4 積み上げ法と詳細IO法(素材部門)の比較(左図:事例1、右図:事例2)

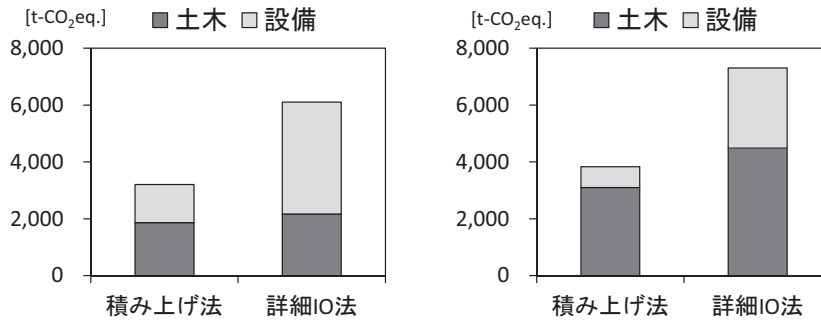


図5 積み上げ法と詳細IO法:土木・設備内訳(左図:事例1、右図:事例2)

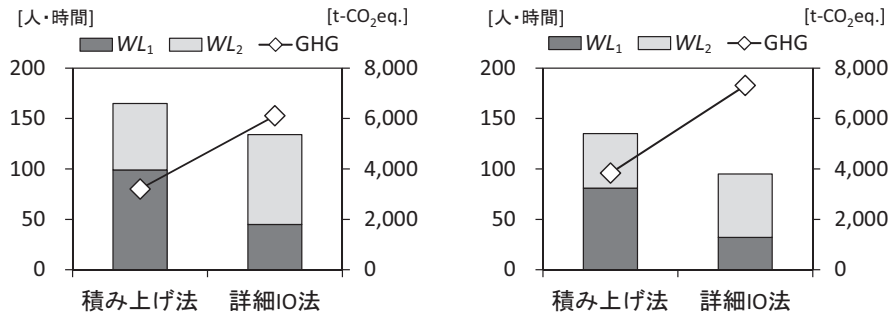


図6 積み上げ法と詳細IO法の比較(左図:事例1、右図:事例2)

影響している。設備機器の製造のようにプロセスが複数から成り推計が煩雑であるほど、実際のデータ入手が難しく、既往研究²²⁾でも示されているように打ち切り誤差が生じる。プラントの設備機器に関し事業者が入手できるデータは、その設備機器の主たる構成素材量のみであることが多く、設備機器の組立加工や多数の部品から成る付属品のデータを入手することは現実的には極めて困難である。

つまり、積み上げ法では、プラントGHG排出量の推計に必要なデータが不足する傾向にあるため、詳細IO法より過小な推計結果となっている。

4.1.2 作業負荷量の比較

次に、プラントGHG排出量の推計に要したWLを比較する(表3)。どちらの推計方法も、WLは大きく、推計作業を1人で行った場合には3~4週を要する結果となった。作業手順別の内訳でみると、手法による特徴がみられ、積み上げ法はデータ入手・作成の工数 WL_1 (事例1が99[人・時間]、事例2が81[人・時間])が大きく、詳細IO法はGHG排出量の計算に要する工数 WL_2 (事例1が89[人・時間]、事例2が63[人・時間])が大きい。

積み上げ法の WL_1 が大きいのは、LCAの実施を意図した物量データは整備されておらず、データ作成に時間を要しているためである。他方、詳細IO法に用いる金額データは事業者の手元にあるが、プラント建設を構成する財・サービスが多種多様であり、推計に用いるデータ項目数が多いため、 WL_2 が大きい。

WL_1 、 WL_2 ともに、評価実施状況や方法の選択によって今回の結果とは異なる可能性がある。例えば、 WL_1 は、物量データの場合データ作成に時間を要し、金額データの場合データの電子化に時間を要している。これらは、LCAの実施を意図して電子データの整備があらかじめ行われていれば減らすことができる。また、 WL_2 は、積み上げ法の場合、データベースに対応していない物量データを換算するのに時間を要しているため、あらかじめデータベースに対応したデータを整備すれば減らすことができる。詳細IO法の場合は、各金額項目が該当する部門を約400部門から決定するのに時間を要しているため、産業連関表の統合大分類(34部門)に基づく排出係数を用いれば減らすことができる可能性がある。

ただし、現状ではLCAを意図してデータ整備がされていることは少なく、プラント建設のように推計対象のデータ項目数が多い場合には、どちらの手法でもWLが大きいことが明らかとなった。

4.1.3 積み上げ法と詳細IO法の比較結果まとめ

4.1.1および4.1.2の結果を図6にまとめて示す。棒グラフがWLで左軸に対応し、線グラフがプラントGHG排出量で右軸に対応している。

積み上げ法は、物量データの収集に時間を要する手法であり、さらに入手可能な物量データの範囲が限定的であるため、詳細IO法よりも過小な推計値となることが示唆された。事例1では事業者が管理しているデータの他に、

電気計装品関係の物量データを施工業者に問い合わせることで入手し推計を行っている。そのとき得られた物量データは164項目で、推計値は65 [t-CO₂eq.]であった。さらにいえば、このデータを入手するために、施工業者への問い合わせ後から約2週間の時間を要している。つまり、プラントGHG排出量の推計に必要な物量データを、短期間で全て収集することは現実的には困難であることが示唆される。このことより、詳細IO法の方が、限られた時間の中でプラントGHG排出量を網羅的に推計できるといえる。

しかし、作業負荷量に着目し比較した結果、詳細IO法はデータ項目数が多くGHG排出量の推計に時間を要することが明らかとなった。つまり、詳細IO法は積み上げ法に比べ、網羅的な推計が可能であるが、両手法共に推計作業に要する時間を考えると実用性に乏しいと考えられる。

4.2 詳細IO法と簡略IO法の比較

本節では、詳細IO法と簡略IO法を比較する。プラントGHG排出量は、簡略IO法が詳細IO法の0.77倍(事例1)、0.79倍(事例2)となった(表2)。プラント建設の主たるGHG排出要因は、設備機器の構成素材(鋼材、プラスチック製品)や、土木・建屋工事に使用されている生コンクリート、鉄筋・鉄鋼などのGHG排出係数の大きい素材類である。簡略IO法を適用した場合には、これらの排出要因となっている項目が平均化され、推計結果が小さくなる傾向にある。平均化の一例として、土木工事の推計が挙げられる。土木工事の場合、詳細IO法では生コンクリート、熱間圧延鋼材、その他の土木建設、土木建築サービス、その他の対事業所サービス等の排出係数を用いて推計するが、簡略IO法ではその他の土木建設部門の排出係数だけを用いて推計する。

本稿で推計対象としているプラントはエタノール製造プラントと、廃棄物処理施設であるが、他のバイオマスプラントであっても、設備機器は主に化学機械であり、そこに使用されている鋼材やプラントの土木工事に必要な素材類がGHG排出要因となると考えられる。つまり、他のプラ

ントに今回の推計方法を適用したとしても、同じ傾向がみられると予想される。

本稿の簡略IO法は、建設費をかなり大胆に2項目に分類し推計しているが、データを簡略化するときには、例えば工種・設備の分類に基づいて10項目前後に分類する方法が考えられる^{脚注2)}。その場合にも、同様に排出要因の大きい項目は平均化されるため、得られる推計値は詳細IO法より小さくなる傾向が確認されている。

WLを比較すると、簡略IO法は、建設費用を2項目に分け機械的に部門対応させているため非常にWLが小さい。その結果、詳細IO法に比べかなり容易な推計方法であることが定量的に明らかである(表3)。

以上の結果を図7にまとめて示すと、簡略IO法は詳細IO法に比べ推計結果が平均化され小さくなる傾向にあるが、WLが非常に小さく実用面で優れていることが明らかとなった。

4.3 プラント建設に伴うGHG排出量がライフサイクルGHG排出量に与える影響

本節では、2つの産業連関法で得られるプラントGHG排出量がLC-GHG排出量に与える影響を示す。表4、表5に事例ごとのプロセス別GHG排出量と変化量をまとめた。第3章で述べたように、プラントGHG排出量以外の値は、先行研究^{5,6)}の推計値に従っている。

変化量に対しプラントGHG排出量が占める割合は、事例1が詳細IO法11%、簡略IO法9%で、事例2が詳細IO法22%、簡略IO法19%である。どちらの事例からも、プラントGHG排出量が変化量に与える影響は無視できないことが示唆される。そのため、適切な推計の実施が求められるが、詳細IO法のように一つのプロセスの推計に2週間以上の時間を要するのは、あまり実用的とは言えない。

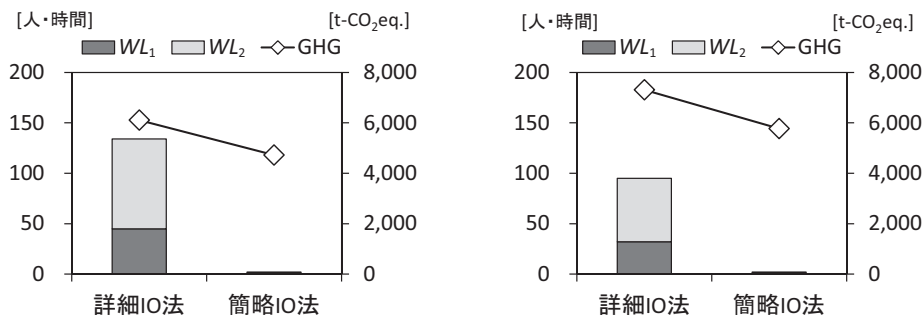


図7 詳細IO法と簡略IO法の比較(左図:事例1、右図:事例2)

脚注2) 事例1は外構工事、建屋建設、製造設備、貯蔵設備、用役設備、排水処理設備、中央監視設備の7分類、事例2は土木造成、建屋建設、外構工事、土木工事、その他の付帯工事、設備機器、電気・計装、その他機器、配管据付工事の9分類で推計することができる。

表4 事例1 プロセス別GHG排出量と変化量

単位：t-CO₂eq.

	事業実施前	詳細IO法			簡略IO法		
		事業実施後	変化量	割合	事業実施後	変化量	割合
サトウキビ栽培/製糖	87,705	82,590	5,115 減少	9%	82,590	5,115 減少	10%
エタノール製造_運用	0	17,310	17,310 増加	32%	17,310	17,310 増加	33%
エタノール製造_建設	0	6,109	6,109 増加	11%	4,724	4,724 増加	9%
燃料消費	1,262,820	1,236,825	25,995 減少	48%	1,236,825	25,995 減少	49%
合計	1,350,525	1,342,834	54,529	100%	1,341,449	53,144	100%
GHG削減効果	—	—	7,691 削減	—	—	9,076 削減	—

表5 事例2 プロセス別GHG排出量と変化量

単位：t-CO₂eq.

	事業実施前	詳細IO法			簡略IO法		
		事業実施後	変化量	割合	事業実施後	変化量	割合
輸送・収集	8,445	7,650	795 減少	2%	7,650	795 減少	3%
廃棄物処理_運用	16,635	15,360	1,275 増加	4%	15,360	1,275 増加	4%
廃棄物処理_建設	0	7,310	7,310 増加	22%	5,774	5,774 増加	19%
埋立	9,855	0	9,855 減少	30%	0	9,855 減少	32%
共同保管	6,015	0	6,015 減少	19%	0	6,015 減少	19%
肥料化・飼料化	7,365	105	7,260 減少	22%	105	7,260 減少	23%
合計	48,315	30,425	32,510	100%	28,889	30,974	100%
GHG削減効果	—	—	17,890 削減	—	—	19,426 削減	—

そこで、推計に要する時間を優先して、詳細IO法の代わりに簡略IO法でプラントGHG排出量を推計したときに、変化量に与える影響について考察する。推計方法が異なることによって生じる推計差は、事例1が1,385 [t-CO₂eq.]、事例2が1,536 [t-CO₂eq.] であった。これは、それぞれ詳細IO法の変化量の2.5% (事例1)、4.7% (事例2) に相当する。

事例1ではガソリンの年間消費量を25,000 [kL/年] と設定しているが、5%変動^{脚注3)}したときには、実施前後で約1,300 [t-CO₂eq.] 変動する。事例2では、電力の排出係数388 [g-CO₂eq./kWh] (5年平均値) を使用しているが、実際には339 [g-CO₂eq./kWh] ~ 425 [g-CO₂eq./kWh] の変動²⁴⁾があり、最小値を適用した場合と最大値を適用した場合は、約1,500 [t-CO₂eq.] 差が生じ得る。

以上より、プラントGHG排出量の推計に簡略IO法を適用すると、詳細IO法に比べ1,300 ~ 1,500 [t-CO₂eq.] 程度の推計差が生じるが、これは他の変動によっても生じる推計差に相当することが示された。このことから、実用性を重視するのであれば、簡略IO法は有効な手法の一つであることが示唆される。

5. まとめ

本稿では、バイオマス利活用をライフサイクル思考に基

づき評価するための実用的な手法の確立を目指して、バイオマス事業のプラント建設に伴うGHG排出量の推計方法に着目した基礎分析を行った。

現実のプラントデータに基づき、物量データを用いた積み上げ法と金額データを用いた2種の産業連関法（粗い金額データに基づく簡略IO法と詳細な金額データに基づく詳細IO法）を、推計結果の妥当性と作業負荷量の観点から比較し、以下の点を明らかにした。

- 積み上げ法は、物量データの入手や加工に時間を要することや、現実的に得られるデータ範囲が限定的となることから、産業連関法に比べ過小な推計値となる。
- 詳細IO法は、網羅的な推計が可能であるが、プラント建設は多種多様な財・サービスで構成されおり費用項目数が1,000を超えるため、GHG排出量の推計に時間を要する。
- 簡略IO法は、平均化された推計値が得られるため、詳細IO法に比べて推計値は20%ほど小さくなる。しかし、簡略IO法の作業負荷量は、詳細IO法のその2%程度と極めて小さい。

脚注3) 国土交通省の自動車輸送統計(平成17年度~平成21年度)²³⁾によると、全国のガソリン消費量は前年比で0.1% ~ 7.4%変動していることから、変化量を5%と想定した。

また、プラント建設のGHG排出量がライフサイクル全体に与える影響を分析した結果、ライフサイクルGHG排出量の推計において、プラント建設は無視できないことを明らかにした。大規模事業であればプラント建設の影響は小さい⁴⁾が、小規模な事業ではその影響が無視できないことを示唆している。

それ故に、プラント建設に伴うGHG排出量の推計が必要とされるが、その推計においては、上述のように網羅性の観点から産業連関法の活用が有効であると考えられる。しかし、1,000以上の費用項目を用いて詳細に推計することは、作業に要する時間を考えると実用性の面から難しい場合がある。粗い金額データを用いた産業連関法でも一定の妥当性を持つことが示されたので、実用性を重視する場合、そのような簡略IO法が有効であると言えよう。

これから我が国において数多く実施されると期待される小規模バイオマス事業を評価していく上で、簡略IO法の活用は有力な選択肢の一つになると考えられる。例えば、バイオマス事業実施を検討している段階で、事業者自身が簡単にGHG排出量を把握する際に簡略IO法が有用となると考えられる。本稿ではGHG排出量に着目したが、今後、他の環境影響や社会経済影響も含めて産業連関法の有効な活用方法について検討していく予定である。

謝辞

現地調査、資料提供、ヒアリング調査にご協力いただいた株式会社りゅうせきバイオエタノールプロジェクト推進室の皆様ならびに、三浦地域資源ユーズ株式会社、三井造船環境エンジニアリング株式会社、三浦市役所の皆様に謝意を表す。なお、本研究の一部は、環境省の環境研究総合推進費（課題番号：2-1302）の支援により実施された。

（平成25年6月24日受付、平成25年12月6日採択）

参考文献

- 1) 農林水産省, 地域バイオマス活用推進計画等の策定状況 (総括表), 農林水産省ホームページ, 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/b_kihonho/local/pdf/tizu.pdf>, (参照 2013-12-4)
- 2) 農林水産省, バイオマス活用推進基本計画, 農林水産省ホームページ, 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/pr/annual/pdf/kanba_01.pdf>, (参照 2013-1-9)
- 3) 総務省, バイオマスの利活用に関する政策評価<評価結果および勧告>, 総務省ホームページ, 入手先<http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/39714.html>, (参照 2013-2-20)
- 4) Macedo I.C., Seabra J.E.A., Silva J.E.A.R (2008): Biomass and Bioenergy, 32, 582-595
- 5) 菊地克行, 本藤祐樹 (2011): 日本エネルギー学会誌, 90, 643-653
- 6) 鶴谷昌洋, 兵法彩, 工藤祐揮, 本藤祐樹 (2013): 日本エネルギー学会誌, 92, 994-1005
- 7) 環境省 (2010): バイオ燃料の温室効果ガス削減効果に関するLCAガイドライン ver1.0, 35
- 8) 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 ver1.0, 14
- 9) 酒井寛二, 漆崎昇, 下山真人, 相賀洋 (1996): 日本建築学会計画系論文集, 484, 105-112
- 10) 伊藤武美, 花木啓祐, 本多博 (1996): 土木学会第4回地球環境シンポジウム講演集, 東京, 63-68
- 11) 中嶋芳紀, 河野幸次, 松本亨, 井村秀文 (1997): 土木学会論文集, 556, 35-47
- 12) 本藤祐樹, 内山洋司 (1999): 日本エネルギー学会誌, 78 (10), 861-868
- 13) 石川明, 加藤丈佳, 鈴置保雄 (2008): 日本LCA学会誌, 4 (4), 349-358
- 14) 社団法人 産業環境管理協会: 新LCAソフトウェア MiLCA, 新LCAソフトウェアMiLCAホームページ, 入手先 <<http://www.milca-milca.net/>>, (参照 2011-10-15)
- 15) IPCC, IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, IPCCホームページ, 入手先 <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wgl/en/tssts-2.5.html>, (参照 2012-1-16)
- 16) 南斉規介, 森口祐一, 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID): 2005年表, 独立行政法人 国立環境研究所 地球環境研究センター, 入手先 <<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html>>, (参照 2012-3-20)
- 17) 総務省 (2009): 平成17年産業連関表 総合解説編, 財団法人 全国統計協会連合会, 495pp.
- 18) 総務省, 日本標準産業分類 (平成19年11月改定), 総務省ホームページ, 入手先 <<http://www.stat.go.jp/index/seido/sangyo/19index.htm>>, (参照 2012-3-20)
- 19) 経済産業省, 平成19年工業統計調査 商品分類表, 経済産業省ホームページ, 入手先 <<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/gaiyo/sonota/bunrui/pdf/h19-reiji.pdf>>, (参照 2012-3-20)
- 20) 株式会社りゅうせき: 宮古島バイオエタノールプロジェクト, 株式会社りゅうせきホームページ, 入手先 <<http://www.bioethanol-miyakojimajp.jp/index.jsp>>, (参照 2012-12-17)
- 21) 三浦地域資源ユーズ株式会社, 三浦バイオマスセンター事業 (施設) の紹介, 三浦地域資源ユーズ株式会

- 社ホームページ, 入手先 <<http://www.shigen-use.biz-web.jp/biomass%20center.pdf>>, (参照 2012-12-17)
- 22) Suh S., Huppes G. (2005): Journal of Cleaner Production, 13, 687-697
- 23) 国土交通省, 自動車輸送統計年報 (平成17年度~平成21年度), 国土交通省ホームページ, 入手先 <<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/jidousya/jidousya.html>>, (参照 2013-6-12)
- 24) 環境省, 電気事業者別排出係数の公表について (平成18年度~平成23年度), 環境省ホームページ, 入手先 <<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc/denki>>, (参照 2013-6-9)