

「バイオマスタウン」シミュレータの構築

Development of "Biomass Town" Simulator

望月和博*・迫田章義**

Kazuhiro MOCHIDZUKI and Akiyoshi SAKODA

1. はじめに

2002年12月の閣議決定「バイオマス・ニッポン総合戦略」¹⁾にもとづき、わが国のバイオマスの利活用に関する施策方針が整備され、バイオマスを石油に代わる物質・エネルギー資源として利用する試みが大きく注目されている。このような背景のもと、バイオマスの資源化技術に関する研究開発は非常に盛んになってきており²⁾、筆者らもバイオマスを原料とする基礎化学原料の製造に関する研究を続けている³⁾。バイオマスは光合成によって大気中の二酸化炭素を固定するので、バイオマスの燃焼や微生物分解によって発生する二酸化炭素は再びバイオマスに戻るといふ炭素循環が成立するため、いわゆるカーボンニュートラルと呼ばれる二酸化炭素の増加には寄与しない資源である。ただし、カーボンニュートラルな資源ということと持続可能な資源ということは同義ではなく、例えば林地のバイオマス資源を考えた場合では、成長量(再生可能量)以上のバイオマス=木材を採取することはできず、逆に、適切な伐採を伴わない植林は森林環境の悪化につながる。バイオマスを基盤とする持続可能な物質循環を構築するためには、利用可能なバイオマスの量および質を把握した上で、そのバイオマスを余すところなく物質およびエネルギーとして利用する工業生産システムを構築することが重要である。バイオマス資源の量を把握するため、全国規模のポテンシャルの推定やバイオマスの種類ごとの発生規模分布に関する調査⁴⁾が進められている。しかし、実際に利用可能なバイオマス資源量に関する情報を具体的なシステムの運用にもとづいて整理した報告例は少なく、バイオマスの工業利用の明確な設計方法は示されていないのが現状である。一般的に、バイオマスは「広く薄く」存在しているため「分散型」の利用が好ましいとされている。広い地域から原料となるバイオマスを集めるためには大きなエネルギーが必要となるからである。しかし、工業プロセスの原則として、小規模の生産はエネルギー効率が低くなる。すな

わち、同じ量の製品を得るために必要なエネルギー(コスト)が増大するので、この意味では、できるだけ大量生産を行う方が有利であるといえる。筆者らの提案する「バイオマスタウン」とは、この相反する両面を十分に考慮して設計されなければならない。その実現を目指して、筆者らはバイオマスタウンにおける物質とエネルギーフローのモデル化を試み、対象とする地域内で得られるバイオマス資源を用いた工業生産活動を行う場合のシステムの設計および評価手法の開発を進めている。

2. バイオマスタウン

バイオマスの資源化といっても、肥料化・飼料化、各種工業原料化から発電や熱源のようなエネルギー利用まで、その目的および方法は多種多様である。ここでは個別の技術の詳細までは言及しないが、いずれにしても、上述のように、物質・エネルギー変換を小さな地域で小規模に行くとエネルギー効率は低くなる一方で、大量処理のために広い地域で原料となるバイオマスを収集・輸送するには大きなエネルギーが必要となる。ここでは、この両面を考慮した上で、地域内で得られるバイオマスから、その地域で必要とされる製品およびエネルギーを得る仕組みを構築した地域をバイオマスタウンと呼ぶことにする。図1に示した物質およびエネルギーフロー⁵⁾のように、地域で発生・排

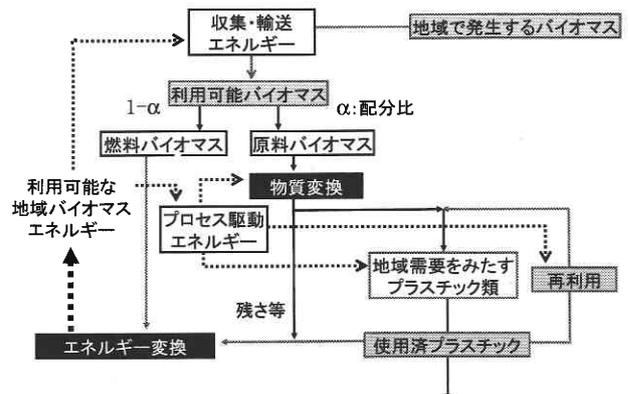


図1 バイオマスタウンにおける物質およびエネルギーフロー

*東京大学生産技術研究所 寄附研究ユニット荏原バイオマスリファイナリー

**東京大学生産技術研究所 物質・生命部門

出されるバイオマスから地域で消費される製品（ここではバイオマス由来プラスチックを仮定する）へと変換され、また、使用後は可能な限り循環利用される。また、それらのバイオマスからエネルギーも取り出すことにより、この物質変換プロセスとバイオマスの収集・輸送に利用する。余剰の出る場合は地域エネルギーとして供給することも可能である。

3. 設計・解析方法

バイオマスタウンにおける物質およびエネルギーフローは前出の図1に示した通りである。本モデルでは、利用可能バイオマスを原料用と燃料用に振り分け、収集およびプロセスの稼動に必要なエネルギーもバイオマスで賄い、バイオマス由来プラスチックを生産する構造を基本としているが、現在のところ具体的な要素技術を特定していないため、各々の技術の内容はブラックボックスとしたまま、物質変換の効率 (R_M)、エネルギー変換効率 (R_E) 等を与えた。プロセスの運転に必要なエネルギーは現状の化学工業のエネルギー消費をもとに算出した。すなわち、現在プラスチックの合成は年間生産量数十万トンクラスのプラントで、原料の持つ熱量の約40%に相当するエネルギーを消費して生産されていることを基準に、地域分散型のバイオマスタウンでは小規模のプロセスとなるので、スケールメリットの逆にスケールデメリットが働くので、生産量を x 倍にすると生産コストが $x^{2/3}$ 倍になるという、いわゆる2/3乗の法則に従うと仮定し、生産規模のエネルギー効率に対する影響を考慮した。また、輸送に必要なエネルギーは、収集の対象地域の面積より平均輸送距離を求め、メタンガストラック（積載量: 8 m^3 , 燃費: $5 \text{ km}^3/\text{methan}$ ）による輸送を想定し、人件費も計上して算出した。

このような条件設定のもと、図2に概略を示したようなツール化を行い、以下の各種分析に供した。バイオマスタウンを構成するシステム全体に必要なエネルギー（輸送およびプロセス駆動）とシステム内で利用可能なエネルギー

の関係やバイオマス由来プラスチックの生産量などに着目し、また、エネルギー的に自立した「バイオマスタウン」の設計を念頭に置き、バイオマス利用シナリオの分析を行った。なお、バイオマスの発生密度は地域によって異なるため、その設計は地域ごとの具体的なバイオマス資源データに基づいて行うことが重要である。ここでは、千葉県内の80地域（市町村）を対象とした。地域で得られるバイオマス資源の量は、農林水産省が公表している市町村単位での各種農作物等の生産量の統計データ⁶⁾をもとに算出した。最適なバイオマスタウンの規模は、必ずしも市町村単位の地域に一致するとは限らないが、市町村をひとつのユニットとして考えることは、統計データの利便性や導入に向けての意思決定など、様々な面で利点があるので、ここでは、市町村を単位として議論を進めた。

4. 結果と考察

一例として、千葉県北東部に位置する農業が盛んなA市（人口が約41,000人、土地の96%が可住地で、そのうち約60%が農地）でバイオマスタウンを構築する場合の設計・評価を行った結果を図3に示す。ここで、 R_M と R_E は、それぞれ物質変換効率とエネルギー変換効率であるが、数値の増加は技術の進歩を示している。なお、 $R_M = 20\%$ 、 $R_E = 30\%$ は近い将来に達成可能と考えられる値、 $R_M = 50\%$ 、 $R_E = 50\%$ は長期的な技術開発目標である。設計に

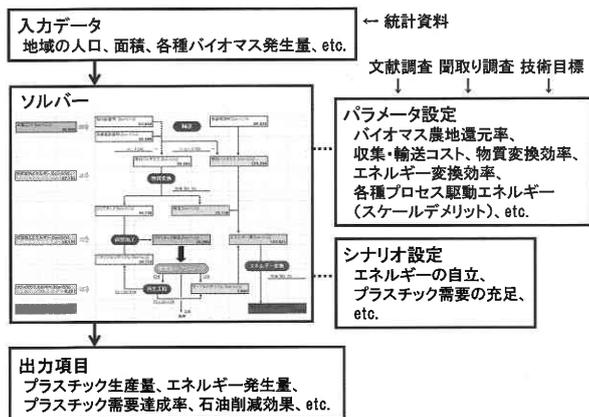


図2 バイオマスタウン設計・解析ツールの概略

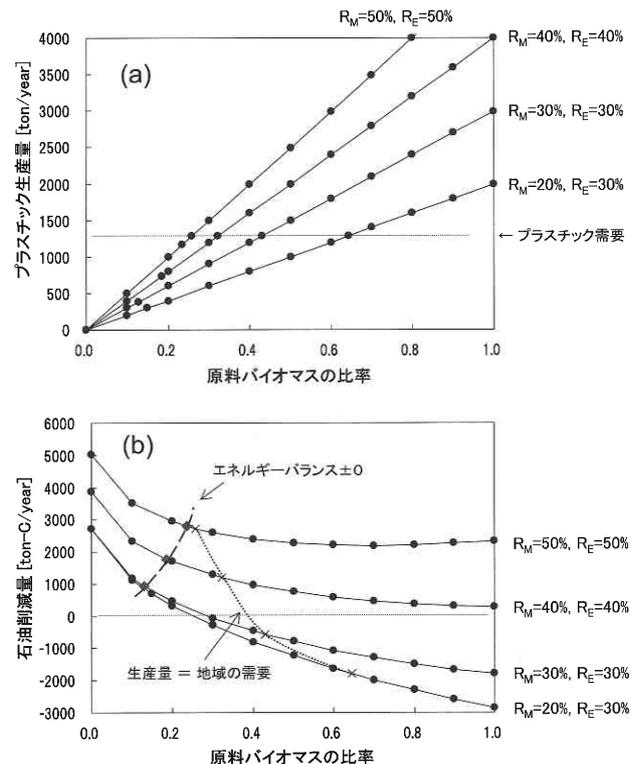


図3 A市バイオマスタウンにおける (a) プラスチック生産量と (b) 石油削減量

研究速報

においては、地域バイオマスを「稲作副産物」、「その他農作物非食用部」および「家畜排泄物」に分類し、「稲作副産物」と「その他農作物非食用部」はプラスチック原料（原料バイオマス）とエネルギー（燃料バイオマス）の両方に利用可能で、「家畜排泄物」はエネルギー利用のみとした。グラフの横軸は、「稲作副産物」と「その他農作物非食用部」のうち、原料バイオマスとして使用する割合を示している。すなわち、横軸が0のときはすべてのバイオマスがエネルギーとして使用され、1のときは「稲作副産物」と「その他農作物非食用部」がすべてプラスチック原料となり「家畜排泄物」のみがエネルギーとして利用される。

この地域において人口より概算されるプラスチック需要は年間1,300トン程度であるが、図3(a)より、比較的低い変換効率においても地域の需要を満たすだけの生産量が得られることが分かった。しかし、図3(b)のように石油削減量として評価した場合、変換効率が低いと、地域の需要を満たしたとしても、トータルとしては石油削減効果がマイナスの結果となってしまふ。このことは、バイオマスを「モノ」よりも「エネルギー」として利用する方が現在のところ有効であることを示しており、現状の考え方と一

致している。今後の技術開発で効率が向上し、 R_M と R_E が40%程度になれば石油削減効果がプラスの範囲で地域需要を満たすバイオマス由来プラスチックの生産が可能であり、さらに、それぞれ50%とした場合では、エネルギーバランス±0（エネルギー自立）で生産できる可能性があることを示している。

また、同様な試算をすべての市町村に対して行った結果を図4、5にまとめる。これより、技術目標を達成した場合、千葉県においては北東部を中心に多くの市町村でバイオマスタウンが構築できる可能性を持つことが示唆された。なお、ここでは需要の達成を表しているの、人口の多い地域では低い評価となっているが、これらの地域の中でも、「需要を満たす」ということを除けばバイオマスタウン構築の可能性を持つ地域も多い。例えば、図6に示したように、生産コストを評価関数とした場合では、地域需要に着目した評価とは異なる傾向が得られた。なお、図中に示した必要最低コストとは、製造プロセスでの人件費に相当する。本モデルにおいては、製造コストのうち、原料となるバイオマスの収集コスト（＝原料費）と製造プロセスで要するエネルギーの生産は含まれているので、労務費

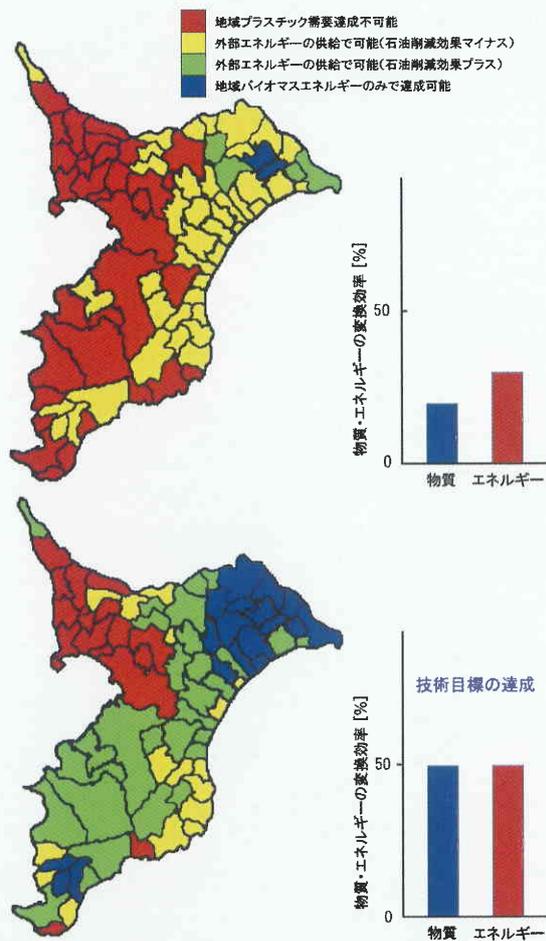


図4 地域プラスチック需要を達成可能な地域

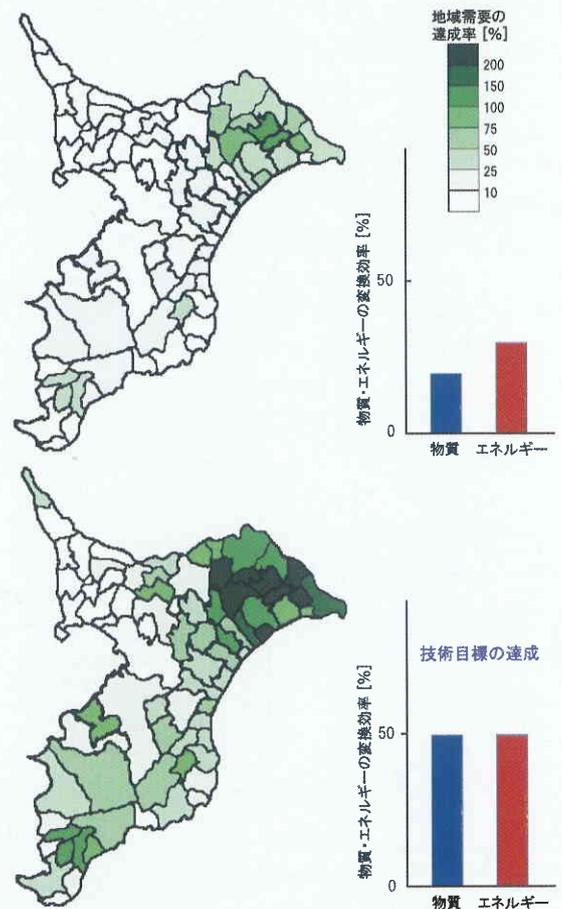


図5 エネルギーバランス±0とした場合の各地域におけるプラスチック需要の達成率

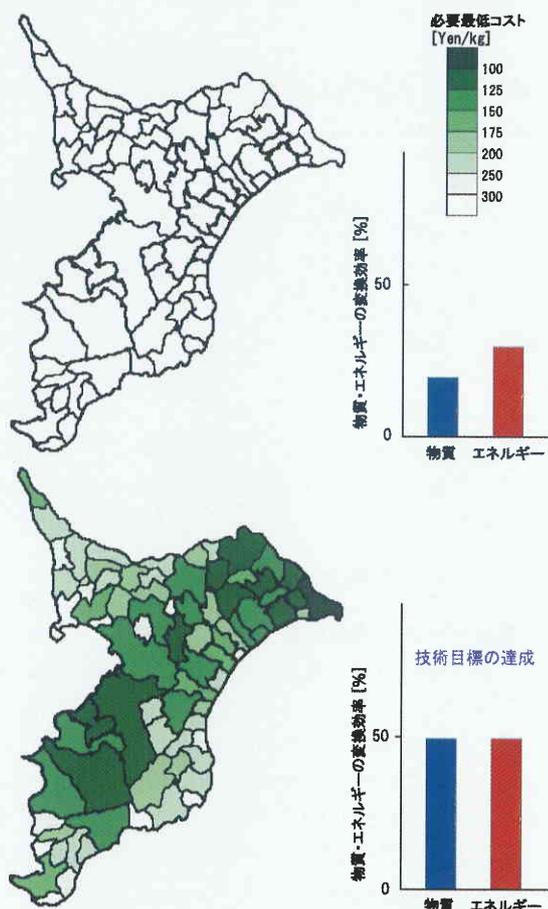


図6 エネルギーバランス±0におけるプラスチック生産コストの比較

を与えれば直接生産費の概算を知ることができる。すなわち、必要最低コストを下回る価格で製品を販売することは、固定費や管理費を別にしても、産業として成り立たないことになる。物質変換・エネルギー変換の効率が低いシナリ

オでは、300円/kgを下回るコストで生産できる地域はなかったが、技術の進歩にともない、競争力のある価格でバイオマス由来製品を製造できる可能性を持つ地域が多く存在することが分かった。

5. おわりに

ここで報告したツールで用いられている計算は多くの仮定に基づくもので、具体的な結果を示すためには更なる検討を要する。しかし、持続可能なバイオマスの利用を念頭に置き、収集コストやスケールデメリットを踏まえた上で、システム設計の考え方が示され、多くの地域でバイオスタウンを構築できる可能性があることが分かった。

謝 辞

バイオマス資源の調査では千葉県庁バイオマスプロジェクトチームの渡邊等氏、中野裕三郎氏に多大なるご協力をいただいた。また、東京大学大学院農学生命科学研究科付属千葉演習林長の山本博一教授より森林資源に関する貴重なご助言をいただいた。ここに謝意を表す。

(2004年1月13日受理)

参 考 文 献

- 1) 小宮山宏, 迫田章義, 松村幸彦編著, 「バイオマス・ニッポン」, 日刊工業新聞社, 2003
- 2) 迫田章義ら, ゼロエミッションのための未利用植物バイオマスの資源化, 環境科学会誌, 14 (4), 383, 2001
- 3) 望月和博, 高温高压水処理による植物バイオマス系未利用素材の有価物化, 分離技術, 30 (2), 136, 2000
- 4) 松村幸彦ら, わが国におけるバイオマス資源発生規模, 日本エネルギー学会誌, 82 (6), 327, 2003
- 5) 望月和博ら, 「バイオスタウン」における物質とエネルギーフローのモデル分析, 環境科学会 2003 年会要旨, 1A 11, 2003
- 6) 農林水産省統計データ, 地域情報「わがマチ・わがムラ-市町村の姿-」, <http://www.toukei.maff.go.jp/shityoson/>